ＨＰ『海軍砲術学校』公開資料

射撃指揮装置（国産）

計算機用増幅器

Ｉ術校砲術科

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

1.　増幅器概要

本射撃指揮装置（I－B）（I－A）の計算機（射撃盤、調定器管制部）に使用されている各種増幅器はすべて半導体化されている。各増幅器はユニット化され、交換可能なプラグイン構造となつている。（付図2－6－3－1）また、各増幅器には機能別にそれぞれ増幅器名が付けられていて、おおむねその機能を知ることができる。（例えばAC3S　AS2M…等）

A C 3 S

└─ 増幅器の外形を表わす。
- S…… 30×30×80
- M…… 30×60×92
- L…… 40×81×140

└─ 機能を表わす。
- A……ADAPTER
- B……BUFFER AMP
- C……COMPUTING AMP
- K……切換用 AMP
- M……MODULATOR AMP
- P……POWER AMP
- S……SERVO AMP

└─ 増幅器（AMPLIFIER）を表わす。

付図1に機能別一覧表を示す。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

増幅器機能一覧表

増幅器名	機能
AA7 -a -b -c	演算増幅器AC3S を計算コンデンサと組合せて使用する時のアダプタである。AA7−a，b 共に2チャンネル用であるが、構造が異なる。AA7−Cは1チャンネル用である。
AA8S−a ⋮ az	演算増幅器AC3S と組合せて加算演算をする時使用するアダプタである。a…azは各種係数により第　図の如く変化する。
AA9S−a −b −c	サーボ増幅器AS2Mと組合せて使用するアダプタである。AA9S−aは1入力　−bは2入力　−Cは3入力である。
AA10	演算増幅器AC3S と組合せ割算回路に使用するアダプタである。
AA11S	演算増幅器AC3S と組合せ割算回路に使用するアダプタである。
AA34L	タコジエネ励磁用増幅器AB13L、タコジエネ増幅用増幅器AB14L と組合せタコジエネチエーンを構成するためのアダプタであり、周波数補償回路、温度補償回路、残留電圧補償回路を有している。 （注）：本増幅器はそれぞれのタコジエネレータと一対一で調整されており互換性はない。
AB13L	タコジエネレータの励磁用増幅器であり、AA34Lのアダプタと組合せて使用される。

付図1　（1/2）

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

AB14L	タコジエネレータの出力を増幅するための増幅器であり、AA34このアダプタと組合せて使用される。
AB15L	レゾルバ用補償増幅器である。
AC 3S	演算増幅器である計算コンデンサの出力を増幅する時はアダプタAA7と組合され、加算演算をする時は、アダプタAA83とそれぞれ組合される。
AK 2S	電圧検出及び制限用増幅器である。
AK 3S	シンクロ精粗切換用増幅器である。
AM8L-a -b -c	デモジュレータ、モジュレータ(400c/s → DC → 400c/s)であり、サーボ回路の補償用に使用されるAM8L-a，bは2入力－Cは3入力である。
AM10S	基本波に対する90° 成分を除去し、サーボ系の特性改善のために使用される。
AM12L	400c/s計算電圧を測定するD.C電圧計駆動用のデモジュレータ(400c/s → D.C)である。
AP14L-a -b	計算基準電圧発生用増幅器である。AP14L-aはゲイン2倍、-bは5倍である。
AP15L	直流+24V安定化用増幅器である。
AS 2M	400c/s用サーボ増幅器である。

付図1 (2/2)

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

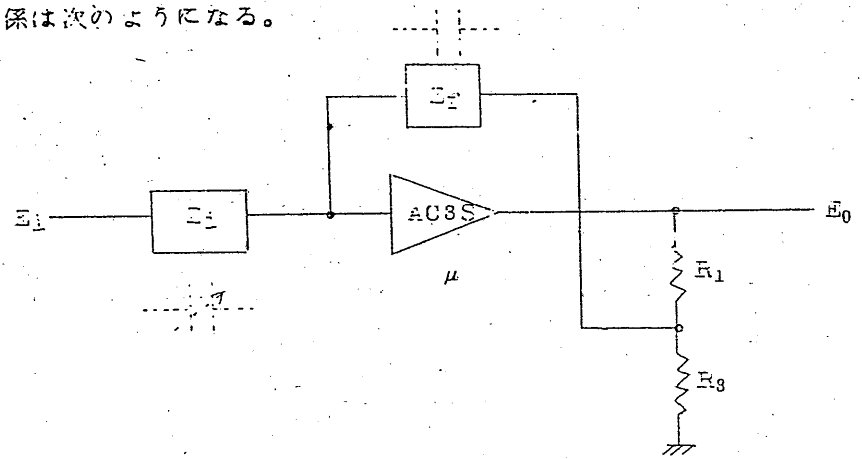
2. AA7増幅器

(1) 概　要

AA7増幅器は演算増幅器AC3を計算コンデンサと組合せ使用するときに用いるアダプタである。AA7増幅器は構造上 a，b，c，3種類あり、各種共その電気回路は全く同一であるが、a，bが2チャンネル、cが1チャンネル用である。計算コンデンサを使用した回路においては、一般にゲインと位相を調整できることが必要であり、その目的のために本増幅器には2個（1チャンネル分）の小型可変抵抗器がある。ゲイン調整用はP（PHASE)、ゲイン調整用はG（GAIN）と刻印してあり、“P”の可変抵抗器は右に回わすと位相がずれていく。“G”の可変抵抗器は右に回わすとゲインが大きくなる。2つの可変抵抗器は共に約24回転で1周し、左右どちらも機械的制限はないが、24回転以上になるとカチカチ音がするのでそれ以上むやみに回わしてはならない。

(2) 動　作

演算増幅器を使用したフィードバック回路において入出力間のゲイン関係は次のようになる。



付図2

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

$$A = \frac{E_0}{E_i} = K_1 \frac{\mu}{1+\mu\beta_1\beta_2}$$

μ ： AC8Sの電圧ゲイン

K_1 ： $\dfrac{Z_f}{Z_i + Z_f}$

β_1 ： $\dfrac{Z_i}{Z_i + Z_f}$

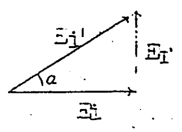
β_2 ： $\dfrac{R_3}{R_1 + R_3}$

今、$\beta_1\beta_2 \gg \dfrac{1}{\mu}$ の場合、Aは次のように示される。

$A = \dfrac{Z_f}{Z_i} \cdot \dfrac{R_1 + R_3}{R_2}$ 、すなわち $\dfrac{R_1 + R_3}{R_2}$ を変化することによりゲイン調整ができ、AA7においては $R_1 \doteqdot 20K\Omega$ の可変抵抗 $R_2 \doteqdot 200K\Omega$ の固定抵抗により $\dfrac{R_1 + R_3}{R_2}$ を1.00より1.10まで連続可変できる。計算コンデンサを使用した乗算回路においてはZ_iは計算コンデンサの実効容量、Z_fは固定コンデンサとなる。

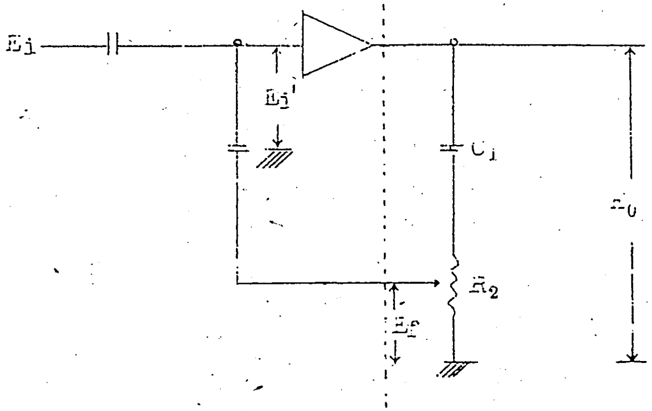
一方入出力間の位相関係は次のようになる。すなわち上式

$E_0 = \dfrac{Z_f}{Z_i} \cdot \dfrac{R_1 + R_3}{R_2} E_i$ において $\dfrac{R_1 + R_3}{R_2}$ に相当する項をベクトル量で帰還することにより、位相を変化することができる。下図はAA7の位相調整用フイードバック回路であるが $\dfrac{1}{j\omega C_1} \gg R_2$ とすれば、E_f は E_0 より約90°進みの電圧となり、増幅器の正味入力電圧E_i'はE_i + E_f のベクトル和となる。故にE_fの大きさを可変することにより位相角αを変化することができる。



http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

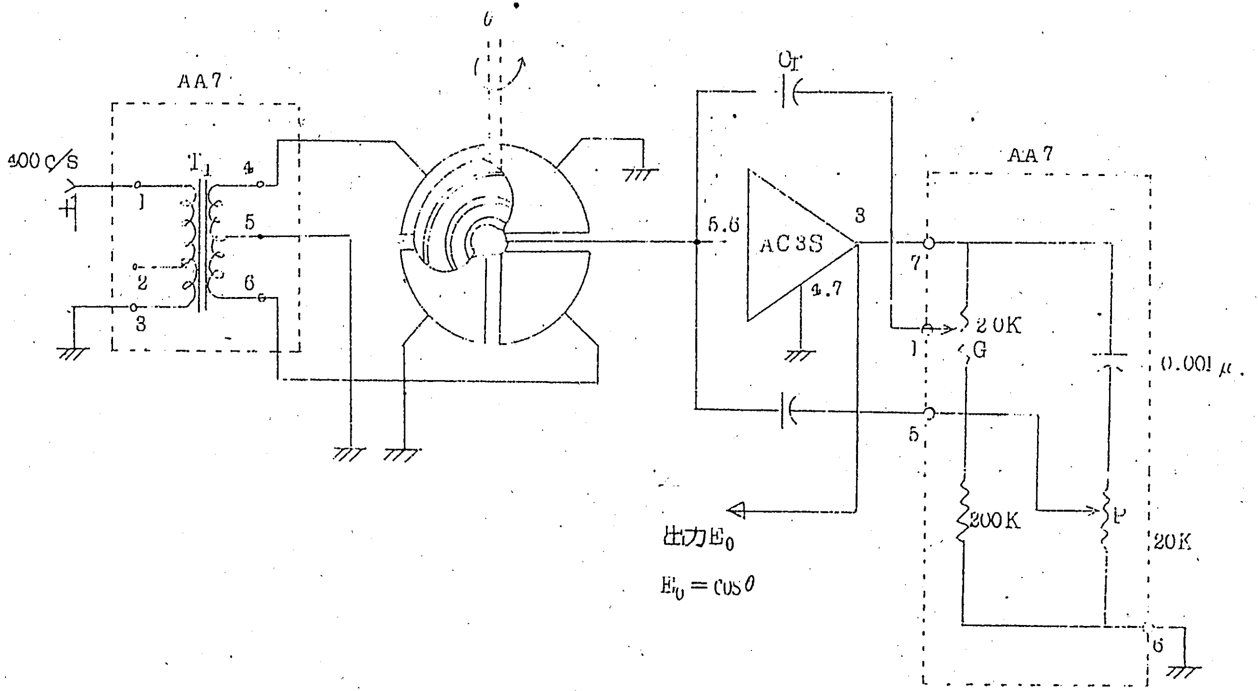


(3) 使用例

アダプタＡＡ７を演算増幅器ＡＣ３Ｓ、及び計算コンデンサと組合せたときの一例を付図に示す。（次頁）

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

ＨＰ『海軍砲術学校』公開資料



http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

入力トランスT_1の入力は基準電圧1の代りに例えばE_1とすれば出力は

$$E_0 = E_1 \cos\theta$$

となる。すなわちこの回路は乗算演算を行なう回路である。

乗算の詳細は　2−6−2　2.4　を参照のこと。

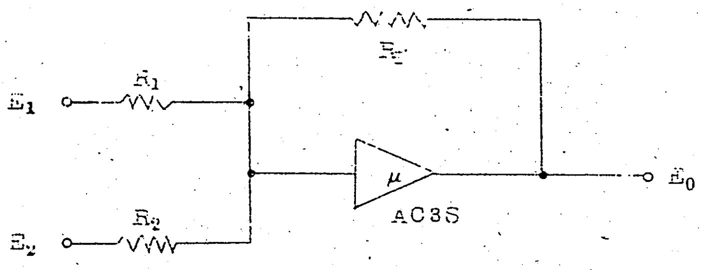
3　AA8S増幅器

(1)　概　要

AA8S増幅器は、演算増幅器AC3Sと組合せ加算をするために使用されるアダプタである。加算演算をするときその計算回路により種々の係数をともなうがそのためAA8S増幅器においては、AA8S−aより、azまで各種ある。また各係数を精度よく設定するために、ゲイン調整及び位相調整用の小型可変抵抗器がある。（付図11）ゲイン調整用は右に回わすとゲインが大きくなり、位相調整用は右に回わすと位相がずれる。なお、AA8Sにおけるゲイン調整、位相調整は工場において完全調整済みであるから、むやみに回わしてはならない。

(2)　動　作

付図7　演算増幅器を用いた一般的な加算回路を示す。



μ：演算増幅器AC3Sのゲイン

E_1　E_2：入　力

E_0：出　力

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

付図7においてμが十分大きなとき、入出力間の関係は次のようになる。

$$E_0 = -\left(E_1 \frac{Rf}{R_1} + E_2 \frac{Rf}{R_2} \right)$$

故に $\frac{Rf}{R_1}, \frac{Rf}{R_2}$ を必要とする値に選ぶことにより各種の係数を持つた計算ができる。AA8Sにおいては、R_1 R_2 は高精度（±0.05％）、高安定（±25PP.M）の金属皮膜抵抗を用い、またRf には巻線形可変抵抗器と前記の高安定抵抗器を用いて係数設定を行なつている。

AA8SとAC8Sの組合せ単独の場合は位相変化はないが、実際の計算回路においてはトランス等のリアクタンス分を含み、位相推移を生じる。そのためAA8Sは位相補償回路を有しているがその動作原理はAA7増幅器と全く同一である。

付表2－6－3－9はAA8S－a～acまでの係数一覧表である。例えばAA8S－ℓの場合、入、出力間の関係は、

$$E_0 = 0.32074\,E_1 + 0.67925\,E_2$$

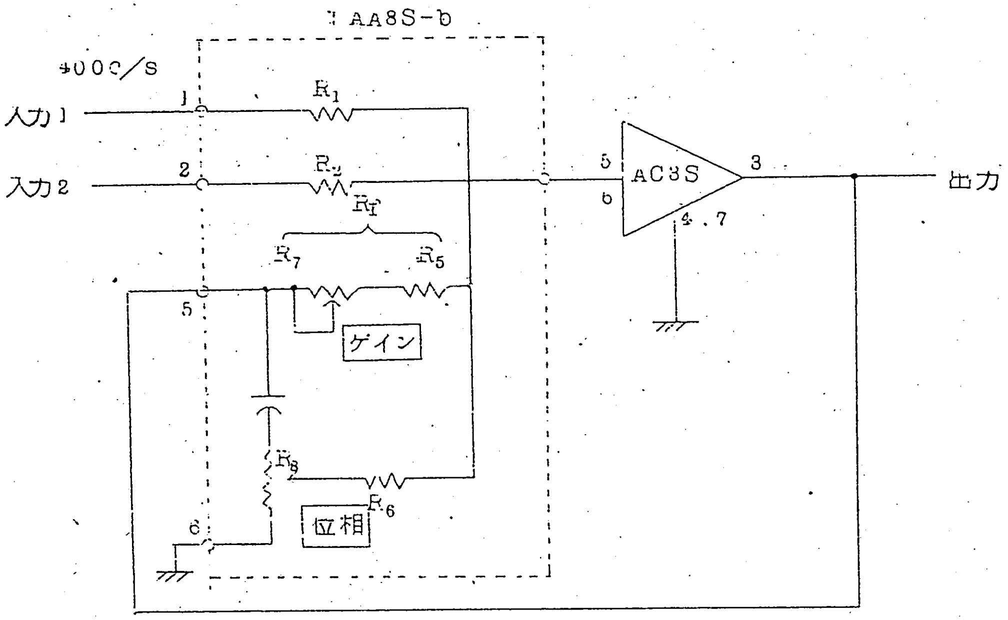
なる演算を行なつている。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

(3) 使用例

ＡＡ８ＳとＡＣ３Ｓを組合せた一例を次に示す。



付図　9

4. ＡＡ９Ｓ増幅器

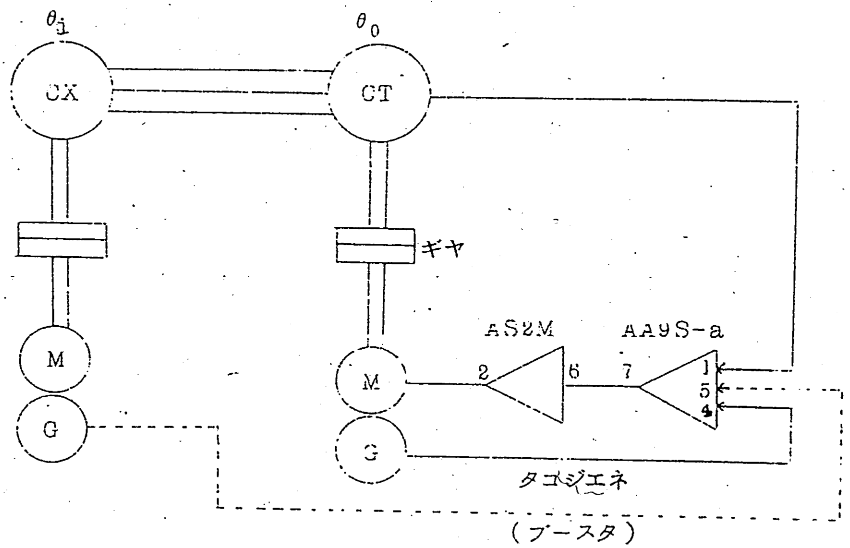
(1) 概　要

ＡＡ９Ｓはサーボ増幅器ＡＳ２Ｍと組合せて使用するアダプタであり、その入力の数によりＡＡ９Ｓ－ａ，ｂ，ｃと３種類ある。　ａは１入力、ｂは２入力、ｃは３入力である。またサーボ系におけるダンピング及びブースタ調整用に小型可変抵抗器を２個有している。どちらも右に回わすとその量が大きくなるが、１周24回転の可変抵抗器であり左右どちらも機械的制限はない。左右の端にくると、カチカチ音がする故それ以上むやみに回してはならない。

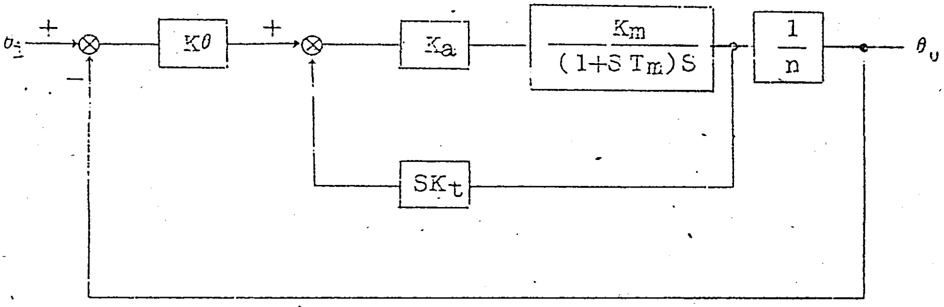
http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

次にタコジエネレータを用いたサーボ系のダンピングについて述べる。



付図 11 はシンクロ電源を使つた位置制御サーボの一例である。今モータ軸より見た負荷の慣性及びまさつを無視すると付図 12 のようなブロック図が得られる。



付図　12　位置サーボブロック線図。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

$K\theta$ ： 角度一電圧変換定数　　volt/deg

K_a ： サーボ増幅器ゲイン　　volt/volt

K_m ： サーボモータ速度定数　　deg/sec/volt

T_m ： サーボモータ時定数　　sec

K_t ： タコジエネレータ定数　　volt/deg/sec

n ： ギヤ比

上記ブロック線図より伝達関係を求めること。

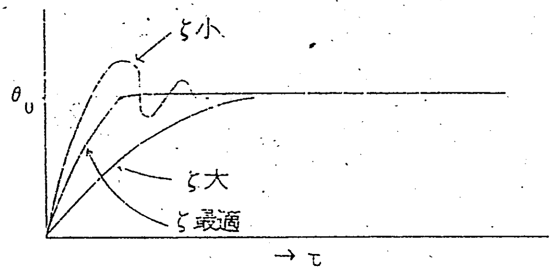
$$G(S) = \frac{\theta_0}{\theta_i} = \frac{\dfrac{K_a K_m K\theta}{n T_m}}{S^2 + \dfrac{S}{T_m}(K_a K_m K_t + 1) + \dfrac{K_a K_m K\theta}{n T_m}}$$

$$\fallingdotseq \frac{\omega_n^2}{S^2 + 2\omega_n \zeta S + \omega_n^2}$$

$$\omega_n^2 = \frac{K_a K_m K\theta}{n T_m}$$

$$\zeta = \frac{K_t}{2}\sqrt{\frac{n K_a K_m}{T_m K\theta}}$$

ζはダンピング定数と呼ばれその値によりこのサーボ系のステップ応答は付図２－６－３－14のようになる。



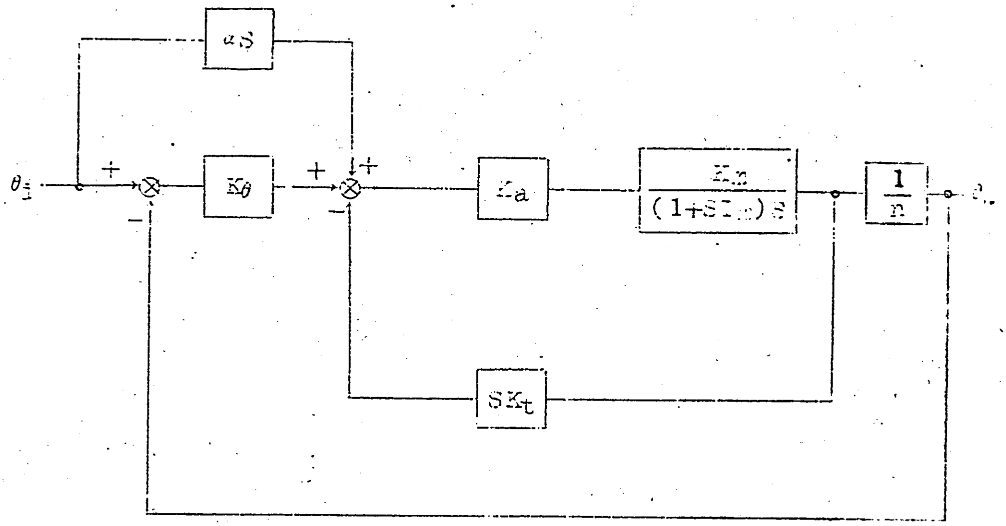
付図２－６－３－14　位置サーボのステップ応答

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

すなわちζを変えることによりステップ応答の最適値がある。ζを変える方法としてKtを変える方法がとられ、AA9SにおいてはR9の可変抵抗器により目的を達している。

またこの形式の位置制御においては入力θ_iが一定のスピードを持つて変化すると、θ_0はθ_iと等しくならないしその誤差は入力のスピードに比例する。この不都合をなくす方法として次の方法を用いる。すなわち入力軸θ_iの角度に比例した信号（ブースタ信号）をAA9Sに加算している。そのブロック図を付図14に示す。

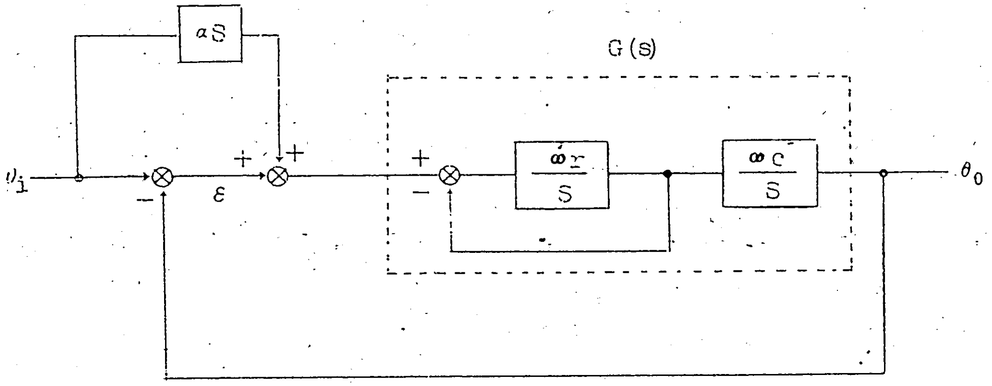


付図14　速度誤差をなくしたサーボ系のブロック線図

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

付図 14 を書き変えると



$$\omega_r \fallingdotseq \frac{K_a K_m K_t}{T_m}$$

$$\omega_c \fallingdotseq \frac{K_g \frac{1}{n}}{K_t}$$

誤差 ε は

$$\varepsilon = \theta_i - \theta_0 = \frac{1 - G(s)\alpha S}{1 + G(s)}$$

ここで、$1 - G(s)\alpha S = 0$ とすれば誤差を零にすることができる。

（詳細は第１章７節を参照のこと）

AA9S においては α を可変にすることによりこの目的を達している

AA9S R_2 がこの目的のためである。

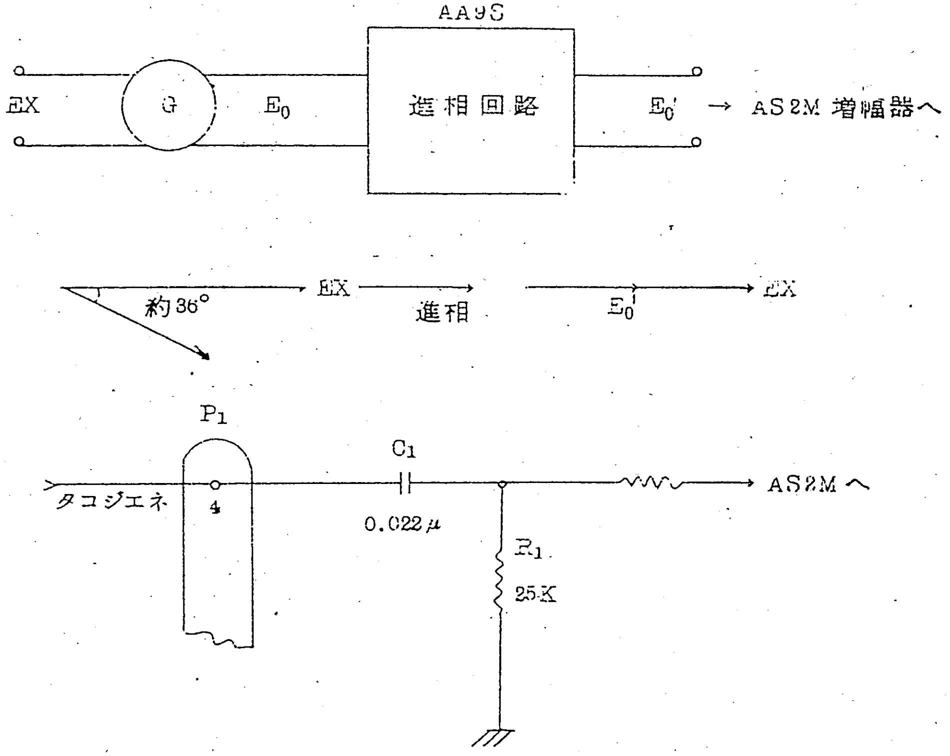
(2) 動　作

サーボモータジエネレータ（MR−0112−4B）のジエネレータは励磁電圧に対し、出力電圧が約 36° の遅れ位相である。この位相補償用に AA9Sにおいては C_1，R_1 の回路による 36° 進相回路を有している。固定抵

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

抗R_3 R_4 R_5 R_6 R_7は抵抗網による加算回路である。



付図　15

5.　ＡＡ１０増幅器

(1)　概　要

ＡＡ１０増幅器は演算増幅器ＡＣ３Ｓ、及びアダプタＡＡ８Ｓと組合せて割算を行なうためのアダプタである。その構造はＡＡ７ 増幅器と全く同一であり、計算コンデンサの横に取付けられる。

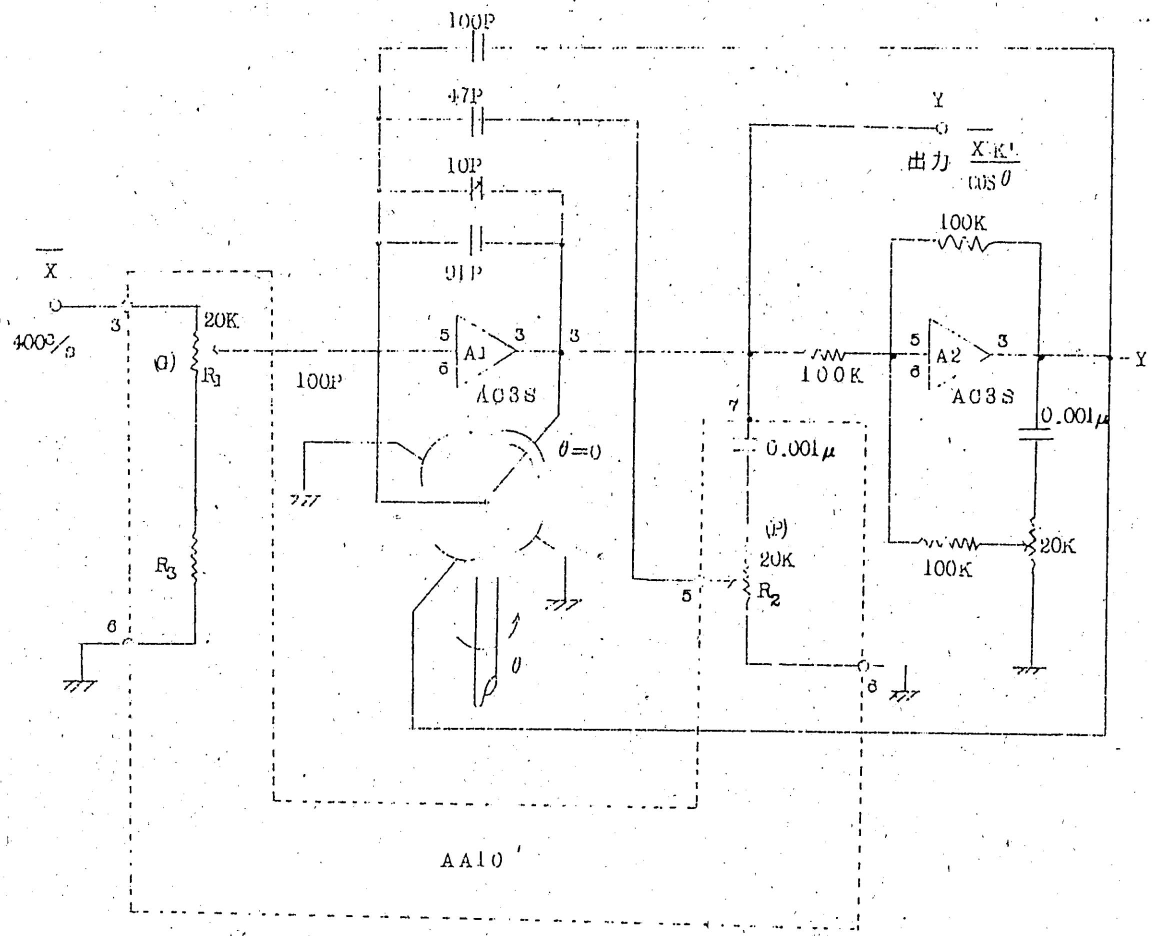
(2)　動　作

18は計算コンデンサ、ＡＡ１０、ＡＣ８Ｓ、を用いた割算（$\frac{1}{\cos\theta}$）の回

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

路を示す。



付図 18 割算回路（$\frac{1}{\cos\theta}$）

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

付図2－6－3－19 において入力をX、A1（AC3S）の出力をY、A2（AC3S）の出力を－Yとすれば次式が成立する。

$$-(X-Y+YK)=Y \qquad K：\theta に比例した帰還量$$

変形すると

$$Y=-\frac{X}{K}$$

$$=-\frac{X}{\cos\theta}K' \qquad K'：定　数$$

上式に示すように出力Yは、入力Xを$\cos\theta$（90°回転すると$\sin\theta$）で割った値に比例する。実際の入力Xとの関係式におけるK'はゲインを示しており、AA10のR_1により設定される。R_2は位相調整用である。（AA7増幅器を参照）

R_1、R_2共に右に回わすとゲイン、及び位相が大きくなる。またR_1には(G)、R_2には(P)と捺印してありそれぞれゲイン、フエーズ（位相）調整用であることを示している。

6　AA11S増幅器

(1)　概　要

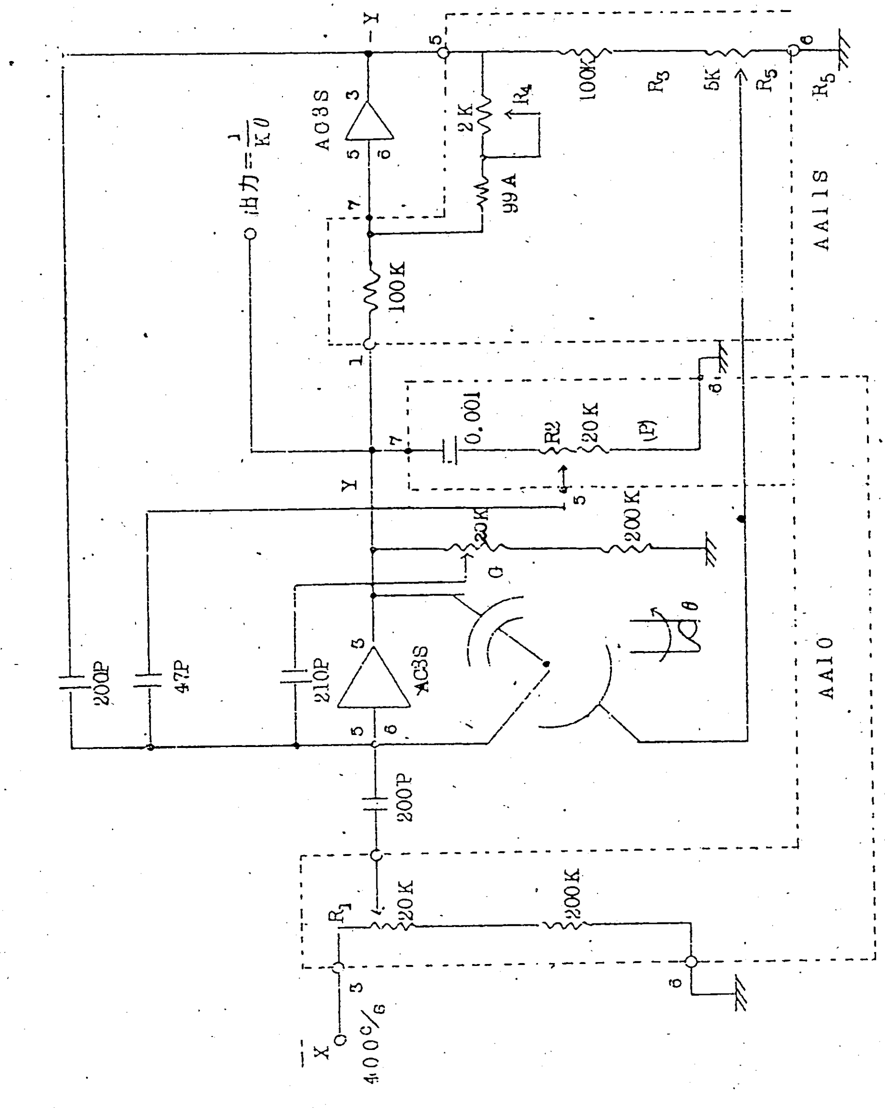
AA11S増幅器は、演算増幅器（AC3S）アダプタAA10、及び直線型計算コンデンサを用いた割算回路に使用されるアダプタである。

(2)　動　作

付図21は直線型計算コンデンサを用いた割算回路を示す。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



付図 21　直線型割算回路

本回路の動作原理はＡＡ１０増幅器、COS型計算コンデンサを用いた割算回路と全く同一である。（ＡＡ１０増幅器参照）

直線型計算コンデンサにおいては誘電体による誤差をなくすために突

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

際に使用するステーターと反対側のステーターに逆電圧を印加する必要があり AA11S、R_3、R_5 により分割された電圧が印加される。

R_4 はゲイン調整用であり Y、=－Y となるようすなわちゲインが正しくなるように調整される。

7　AA34L増幅器

(1)　概　要

AA34L増幅器は他の2つの増幅器、AB13L、AB14L と組合されタコメータチエーン回路を構成する。タコメータチエーンは、タコメータジエネレータ（一般にタコジエネと称する）を用いた速度フィードバックを持つサーボ機構であり、GFCS においては速度計算部に使用され的速を求めている。

タコメータチエーンの基本的要素となるタコジエネは本質的には交流発電機であるが計算素子として用いるため特に高精度が要求される。すなわち

ア　出力電圧が回転数（角速度 $\frac{d\theta}{dt}$）に正しく比例すること。（誤差0.1％以内）

イ　周囲温度により出力電圧が変動しないこと。

ウ　励磁電圧の周波数変動により出力電圧が変動しないこと。

エ　回転数が零のときの出力電圧（残留電圧）が小さいこと。

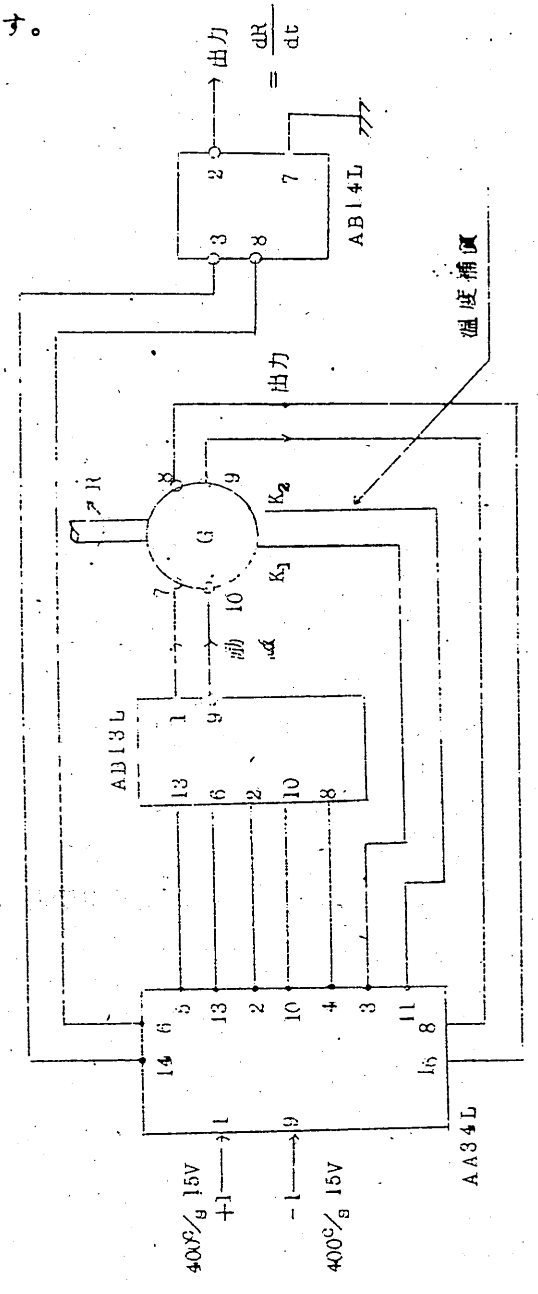
等である。(2)(3)(4)項はタコジエネ自身でできる限りの補償は行なつているが計算用として用いるには不十分であり外部回路により補償を行なつている。AA34Lはその補償回路（温度補償、周波数補償、残留電圧補償）3回路と共にAB13L，AB14L各増幅器のアダプタ部分を有している。なおAB13Lはタコジエネ励磁用、AB14L はタコジエネ出力

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

増幅用である。

付図24にタコジエネ、AA34L、AB13L、AB14L を用いたタコメータチエンを示す。



付図 24 タコメータ チエーン

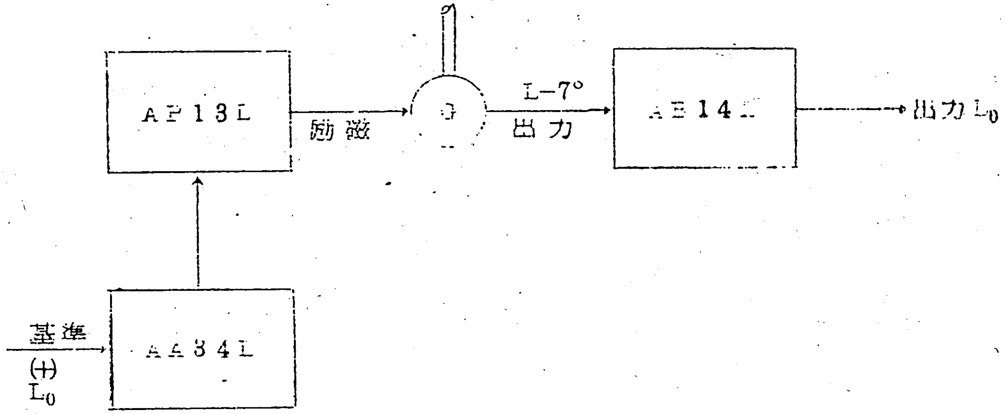
http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

(2) 動　作

タコジエレータは速度及び周波数変動等により出力電圧も変化するが、また注意することはその出力電圧の位相が励磁電圧に対し約37度遅れていることである。計算回路においては演算素子の入、出力間の位相は完全に一致する必要があり、そのためにAB13Lによりタコジエネの励磁電圧を計算基準電圧に対し約30度進めて印加している。

残り7度分はタコジエネ出力用増幅器AB14Lにおいて補償しているが実際の調整部分はAA34Lに含まれている。AA34L R_{10}（位相）がその目的のためである。第25図参照



付図　25　タコメータチエーン位相関係

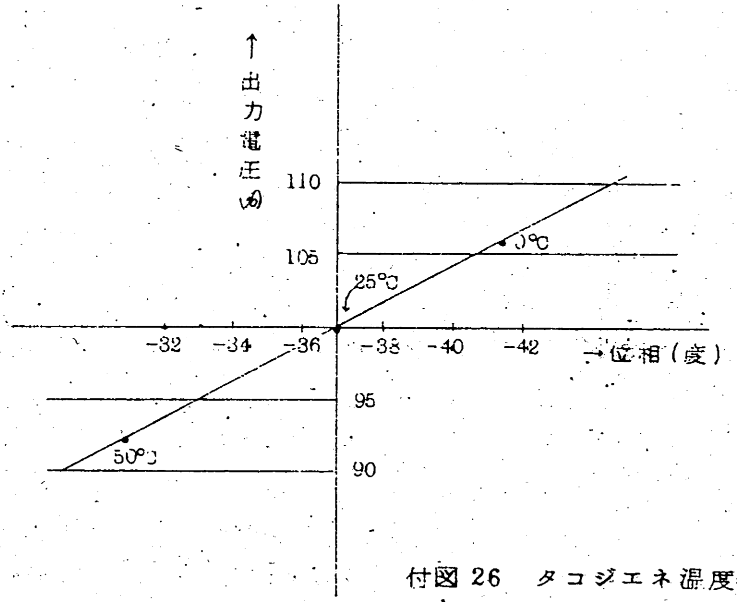
正常状態（周囲温度25°C 周波数400c/s）においてはAB13L 増幅器の出力は約12V（アースに対し平衡）である。

次に周囲温度、及び周波数変動による影響及び補償法を述べる。

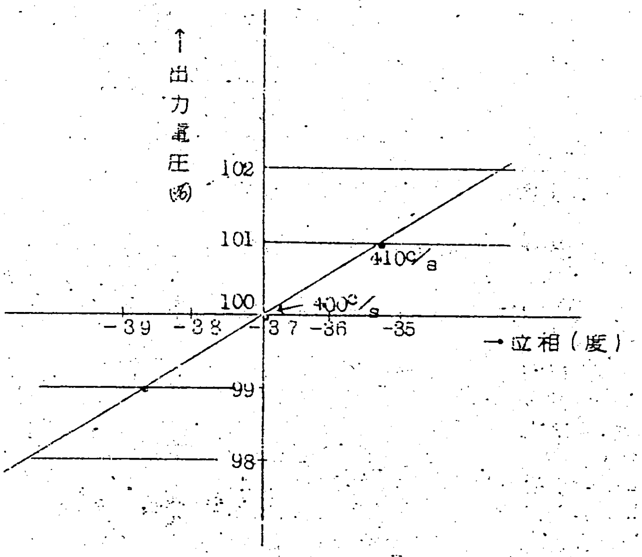
前述の如くタコジエネの出力電圧は温度及び励磁周波数変動により変化するが、その特性を付図26及び付図27に示す。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



付図 26　タコジエネ温度特性

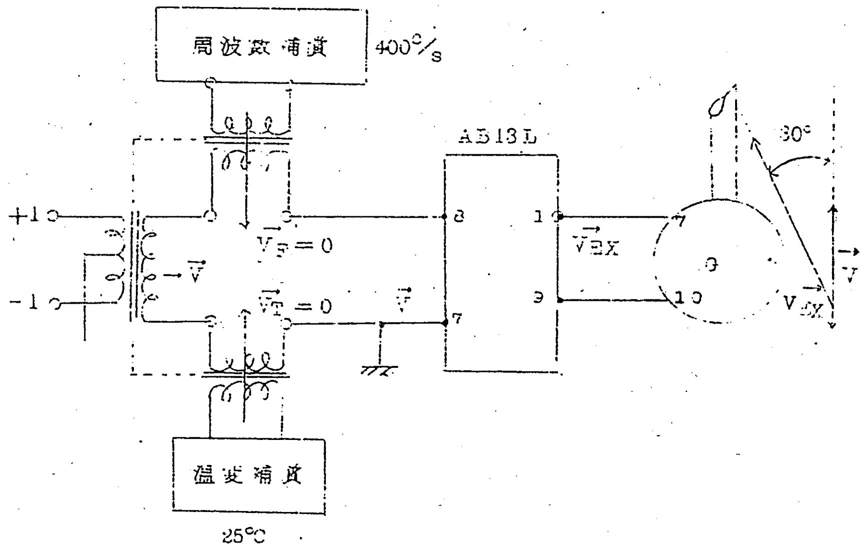


付図 27　タコジエネ周波数特性

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

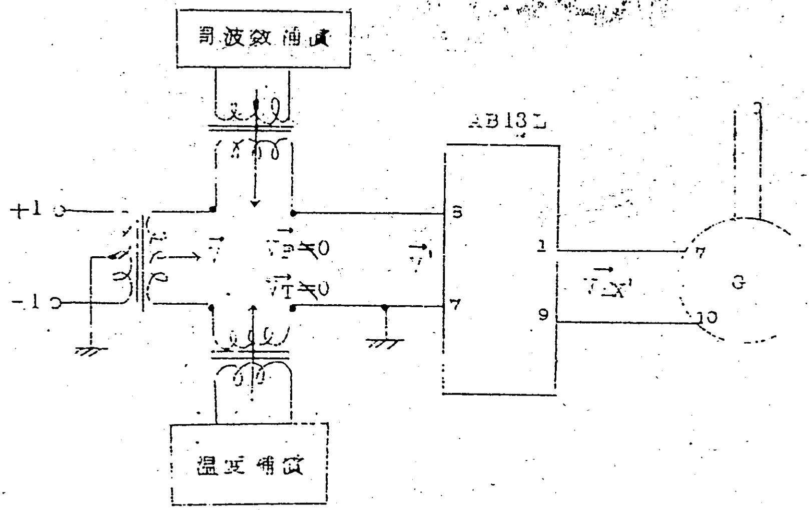
HP『海軍砲術学校』公開資料

上図に示す如く温度変化、周波数変化に対し出力電圧は比例して変化する。故にこれを打消すよう補償すれば良い訳である。例えば基準温度25°Cより温度が上つたときは励磁電圧を下げ、また400c/sより周波数が上つたときは励磁電圧を下げるように補償する付図2－6－3－29にその原理図を示す。



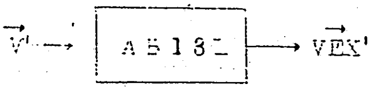
付図　28　基準状態における補償電圧

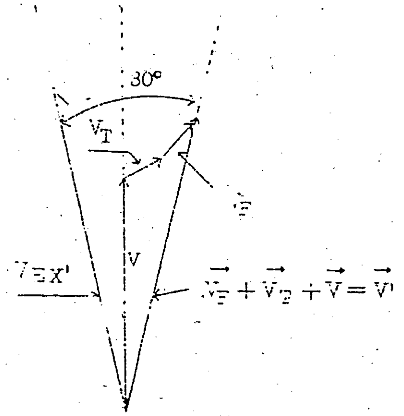
http://navgunschl.sakura.ne.jp/



付図　28　(c)基準状態よりずれた場合

$\vec{V'} = \vec{V} + \vec{V_F} + \vec{V_T}$





http://navgunschl.sakura.ne.jp/

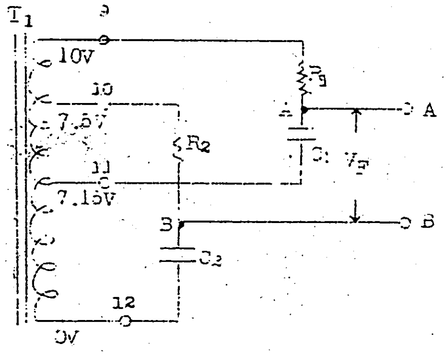
HP『海軍砲術学校』公開資料

(3) 回路の動作

AA34Lは入力トランス（T_1）を有しており、その1次側には400c/s ±15Vの基準電圧が印加される。二次側には三つの巻線があり、その1（端子9～12）は周波数補償回路、その2（端子7，8）はAB13L増幅器の入力用、その3（端子4～6）は温度補償回路に使われる。

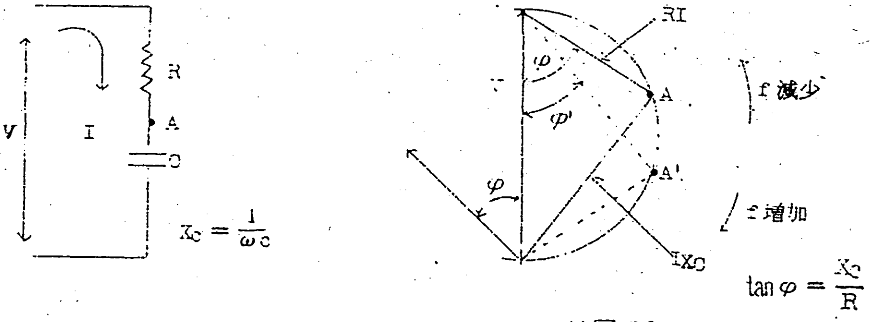
ア・周波数補償回路

この回路は付図29に示す通り二つの位相シフト回路より成つており、約10Vが印加される。



付図29 周波数補償回路

この回路の動作を理解する上で最も基本となるR．C 位相器の動作を説明する。



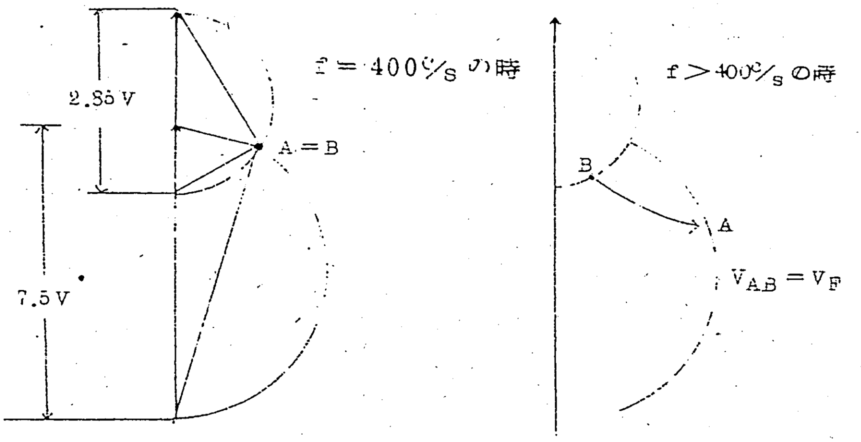
付図30

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

付図30において電流Ｉと電圧Ｖ間の位相差は$\varphi = \tan^{-1}\frac{X_C}{R}$で求められる。例えば周波数が増加したときはコンデンサのリアクタンスは減少し、位相と同時にＡ点の電圧も変化する。(A')

注意することはＡ点の移動は常に電圧Ｖを直径とする円周上を移動することである。周波数補償回路は二つのＲ．Ｃ 位相シフタ回路で成立しており、400%~S~ においてはＡ点，Ｂ点の電位が等しくなるよう、Ｒ，Ｃの定数を選んである。（付図31参照）



付図 31

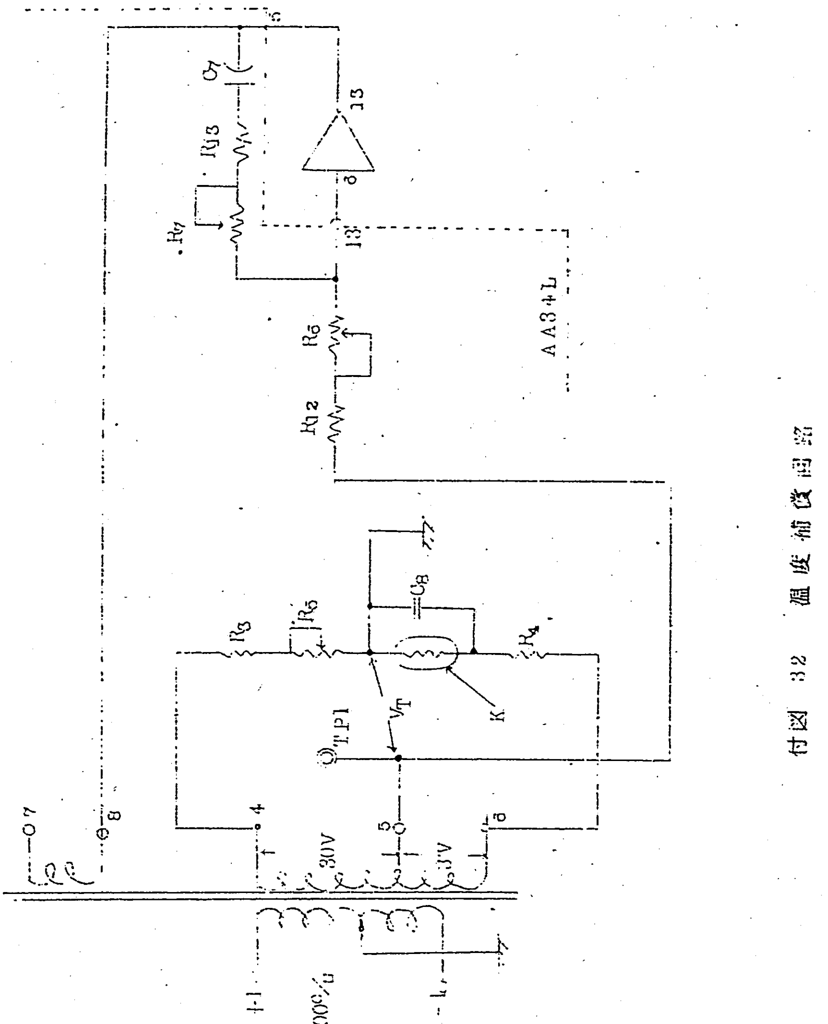
周波数が変化すると両点（Ａ．Ｂ）は共に各円周上を移動し、Ａ，Ｂ間には電位差が生じる。この電圧V_Fが周波数補償電圧となりT_1の端子7,8の電圧と温度補償回路の出力電圧と加算されＡＳ１３Ｌに送られる。

イ　温度補償回路

この回路は数個の固定抵抗器、可変抵抗器、及び温度検出用の補償巻線(K)－ＡＡ３４Ｌ P_1の端子３－11 間に接続される－により成立し

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

ている。温度補償巻線にはタコジエネのステータ巻線に組込まれており。25°Cにおいて約3.000Ωの抵抗を有している。温度係数は約+11.8Ω/°Cである。これはまた小さなインダクタンス（約60mH）を持つているため400〜/sにおいてこのリアクタンス分を打消すようC8が入つているがタコジエネによりこの値が変るので実際は調整時に決定される。付図32に温度補償回路を示す。



付図 32 温度補償回路

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

付図 3.2 においてTP1アース間に補償電圧 V_T が発生する。

基準温度 25°C においてTP1の電圧が零になるよう R_5，及び C8 が調整される。25°C よりずれるとEの抵抗変化によりバランスがづれ、TP1に電圧を生じ、AB13L の中に入つているトランジスタ三段の増幅器で増幅される。R12，16 及び R7，R13，C7 はこの増幅回路の入力及びフイードバツク抵抗であり温度補償出力電圧の調整用である。この増幅された補償電圧はC1の端子 8 に印加され、前記の周波数補償用電圧と共にAB13L増幅器の入力に送られる。付図 3.3

「注意」

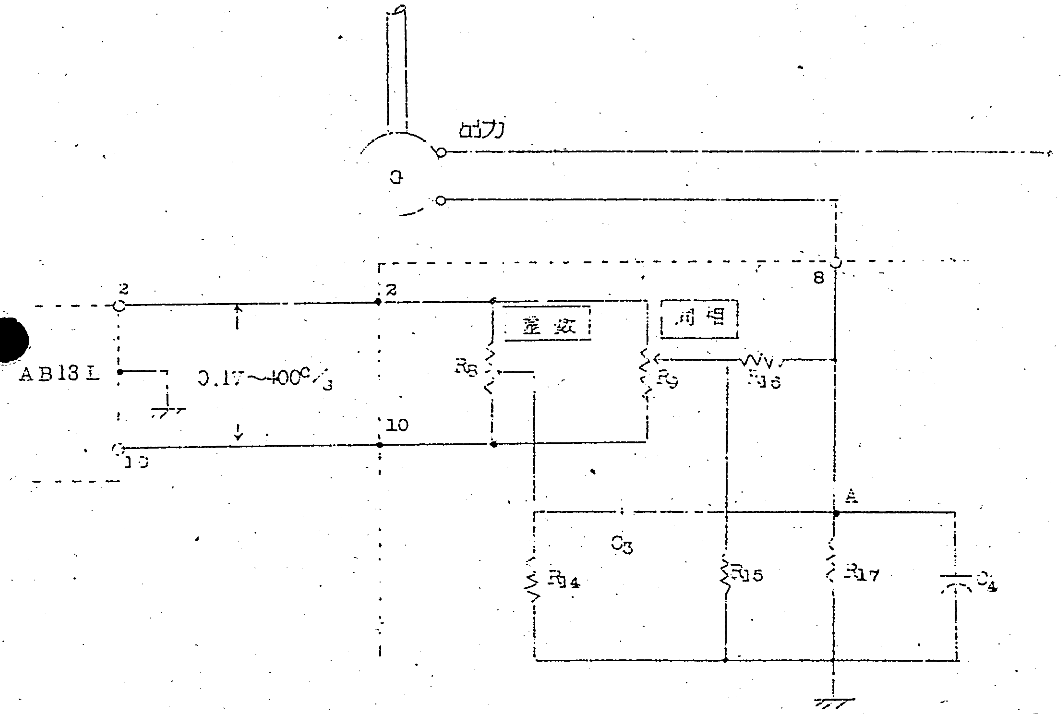
AA34L，R5，R6，R7 の各可変抵抗器は温度試験において調整済みであるから艦上では絶対に回わしてはならない。

ウ　残留電圧補償回路

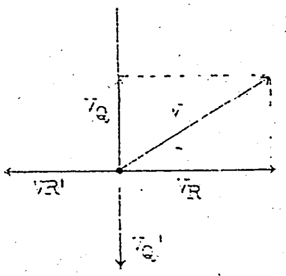
交流タコジエネは静止状態においてもある程度出力電圧が現われる。これを残留電圧と称する。この電圧はタコジエネの機械的精度及び励磁巻線の不均一等により生じ、タコジエネ自身によりある程度調整できるが計算回路用としては不十分なため外部回路により補償している。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



付図 33　残留電圧補償回路



V ：残留電圧

V_R ：残留電圧の同相分（基準電圧に対し）

V_Q ：　〃　の虚数分（　〃　）

V_R' ：
V_Q' ： } 補償用電圧

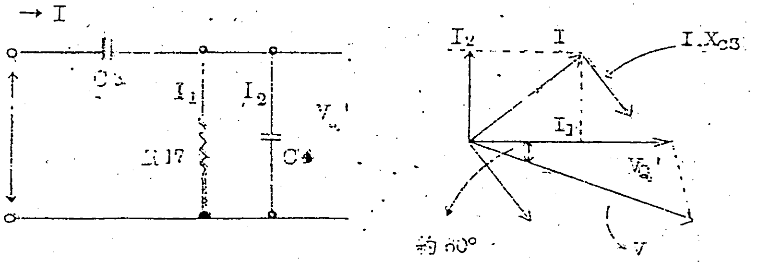
残留電圧のベクトル図

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

付図33はその回路を示す。残留電圧は一般に同相分及びそれと直角の虚数分に分解することができる（ベクトル図参照）故にこの電圧を打消すためには同相分 V_R，虚数分 V_a とそれぞれ逆相の電圧 V_R'，V_a' を加えればよいわけである。付図33の回路動作はまず、

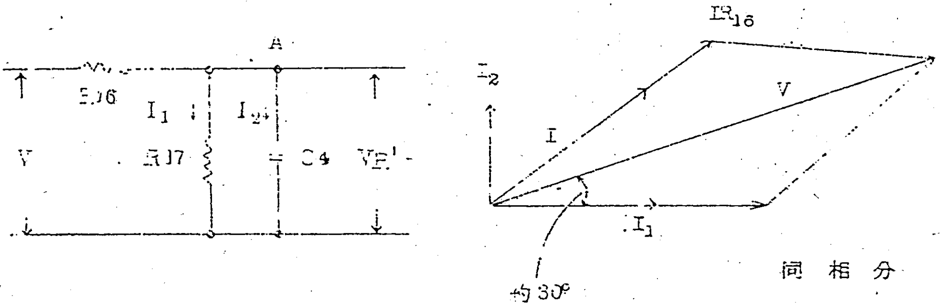
AB13Lの端子2，3より基準電圧より30°（進んだ電圧（約0.1V）を受け、虚数分補償用はC3，R17，C4によりさらに約60°進んだ電圧をA点に発生さす。（付図34(a)参照）



虚数分

付図 34

a)



同相分

(b)

同様に同相分補償用はR16，R17，C4により約30°遅れた電圧をA点に発生さす基準電圧に関して見れば30°＋60°＝90°と30°－30°＝0°になり同相及び90°分の電圧（AB13L）となる。R8，R9は（AB13L）それぞれ、各成分の大きさを可変する目的であり、タコ

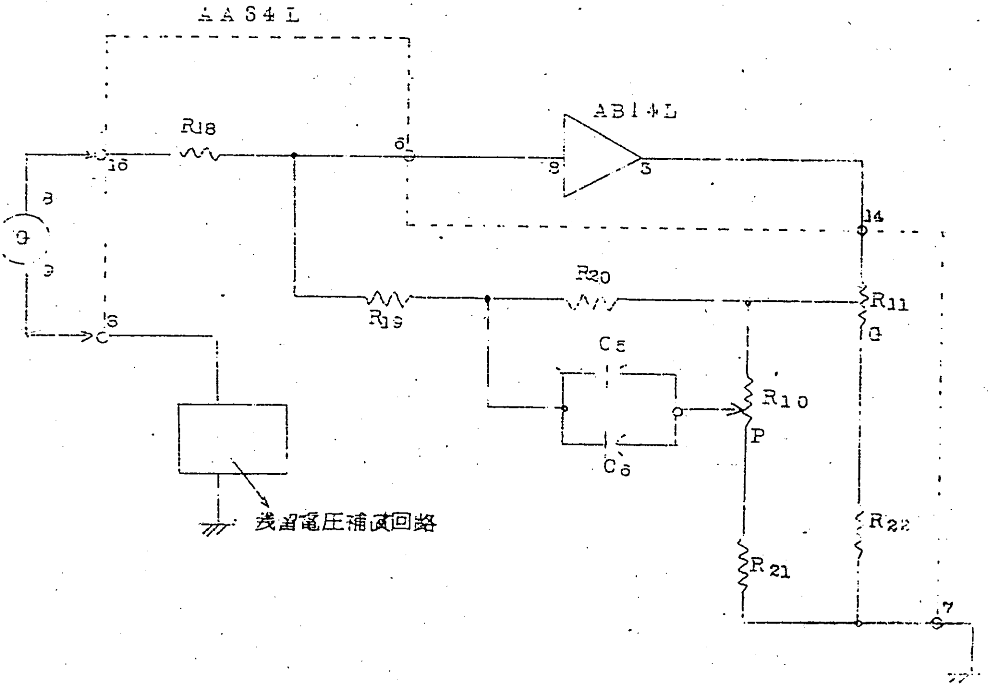
http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

ジエネと組合され調整される。

エ　AB14L 入力回路

AA34Lには前記補償回路と共にAB14L増幅器(タコジエネ増幅用)のフイードバック回路を有している。(付図35)



付図　35

付図35においてフイードバック電圧はR11,R22により分割され帰還される。故にR11の可変抵抗により、フイードバック電圧を変えることによりゲインの調整ができる。R20、C5,C6、R10、R21はR,Cによる移相シフタであり帰還回路に直列に入ることにより位相調整ができる。

R_{10}により最大0°より20°まで可変可変可能である。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

8 AB13L増幅器

(1) 概 要

AB13L増幅器はAA34増幅器の出力（約1.5V）を受け増幅し、位相を30°進めてタコジエネの励磁巻線に供給する回路とAA34L増幅器と組合せ温度補償電圧を増幅する回路を有している。

一般に増幅器のゲインを温度電圧変動等に対し安定にするには、ゲインの高い増幅器にフイードバックをかけ必要なゲインを得る方法が用いられる。この方法によればゲイン変動はフイードバック素子の安定度のみに依存するからフイードバックに高安定の素子（金属皮膜抵抗等）を用いることで、ゲイン変動0.1％以内におさえることができる。

AB13L増幅器は入力抵抗、フイードバック抵抗に温度係数25PPM、精度±0.5％の高安定抵抗を用いることで目的を達している。

(2) 回路動作

AA34L増幅器の出力は入力抵抗R1を通して電界効果トランジスタQ1の第一ゲートに加えられる。電界効果トランジスタは真空管と良く似た特性を持つ半導体素子であり入力抵抗 10^{13} Ω以上である。Q1の高入力インピーダンスで受けた信号はQ2，Q3ダーリントン接続の増幅回路で増幅される。

トランジスタのダーリントン接続はトランジスタ単体の電流増幅率をβとすればダーリントン接続時総合の電流増幅率は β^2 となり、入力インピーダンスを上げると同時に増幅度も上げることができる。R7は電流帰還用で増幅度の安定度を増している。Q5，Q6の出力段はA級のプッシュプル動作を構成している。A級プッシュプルにする目的は、出力トランスT1の1次側に大きさの等しい逆方向電流を流すことにより、磁

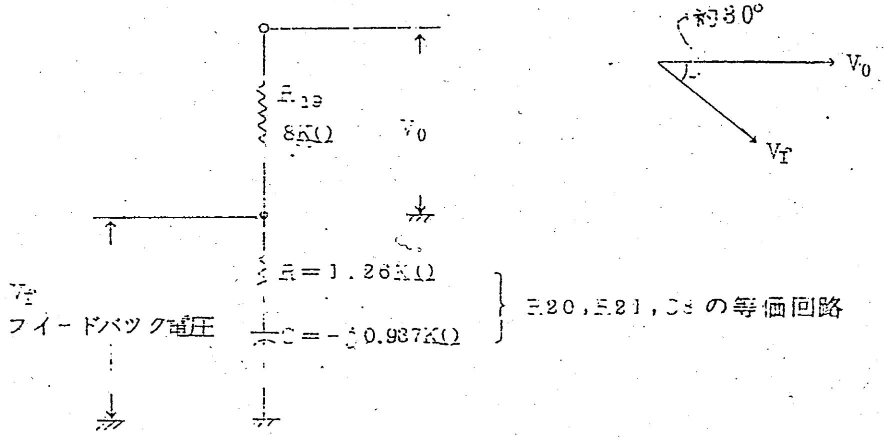
http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

気飽和を避け歪率の減少を計ると共に電源側からのノイズは互に打消し合うので出力側に現われない。

長所にある。抵抗R17，R18はQ6のバイアス設定用でありQ6 はベース接地エミッタ駆動形式の増幅回路を構成している。Q4，Q5は直結方式の増幅回路でありCR2のゼナーダイオードはQ4，Q5の直流電位を合す目的のためである。一般にトランジスタは特性のバラツキが非常に大きくバイアス点の調整用にR12の可変抵抗器を設けている。C14は高周波発振防止用C5，C6，C15は400 c/s同調用である。C7はT1の高域減衰による高域発振防止用である。

このようにQ1よりQ5，Q6まで増幅された信号は出力トランスT1 端子4，6よりタコジエネの励磁に供給される。（≒6V，+30°進み）Q1のゲートよりT1端子4，6までの電圧ゲイン（開回路ゲイン）は約1000倍である。R19，R20，R21，C8の回路網は30° 位相を遅らし帰還をかけることにより全体で30°の進み位相にするための回路である。この回路の等価回路は付図38のように計算される。



付図 38

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

Q7，Q8，Q9 は温度補償の電圧を増幅するための回路である。（付図2－6－8－33参照）AA34L 増幅器からの温度補償用電圧はQ7 のゲートに加えられるR22はゲートリーク抵抗であり、電界効果トランジスタにおいては第1ゲートを直流的にソースと浮かすことができない関係上Q7 の保護のために入れてある。Q8，Q9は2段直結方式の交流増幅器であるR27，R31は電流帰還用、R29はバイアス設定用と共に直流負帰還をかけることにより動作点の安定を計つている。C12は高周波発振防止用である。この三段増幅回路の電圧ゲインは約50倍である。

(3) 性　能

タコジエネ励磁用回路

開回路ゲイン	1000^{+200}_{-200} 倍
閉回路ゲイン	4 ± 0.5 倍
最大出力	7.5V(r.m.S) 以上（歪率 0.3 %以下）
位　相	30 ± 2°
+24V 入力電流	60 ± 5mA

温度補償回路

開回路ゲイン	50 ± 10 倍
最大出力	2V（r.m.S）以上
+24V 入力電流	8 ± 2mA

9. AB14L 増幅器

(1) 概　要

AB14L 増幅器はすでに8で述べたごとくAA34L 増幅器と組合され、タコジエネチエーンを構成している。AB14Lの機能はタコジエネの出力を増幅し電力増幅した後計算回路に送り出すことである。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

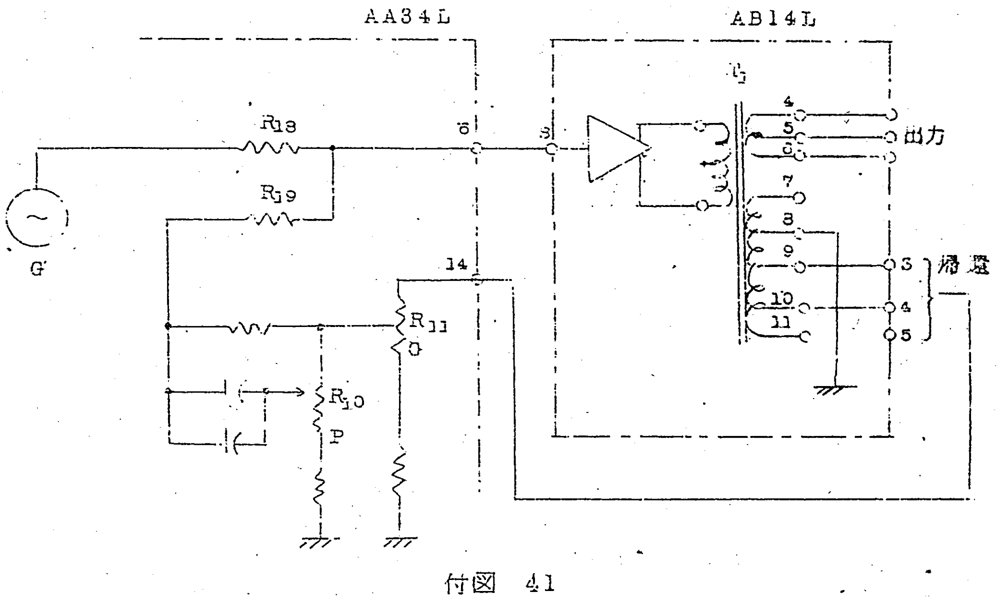
HP『海軍砲術学校』公開資料

(2) 回路動作

タコジエネの出力は残留電圧補償された後、AA34L R18の入力抵抗を通してQ1のゲートに加えられる。（付図48参照）Q2，Q3はダーリントン接続の増幅回路である。Q5，Q6はA級プッシュプル増幅回路を構成しており、歪率の減少、雑音の減少を計つている。

C3 R11は高周波発振防止用。C6は出力トランスT1の高域における減衰による高周波発振（負帰還をかけた時）防止用である。

出力トランスの二次側には2巻線を有しており、端子4～6が出力用である。端子8～11は負帰還用のためである。システムにおいて必要なタコジエネのゲインの粗調整はこのトランスのタップを切換えることにより行なわれ、また微調整はAA34L増幅器のR11の可変抵抗器により行なわれる。（付図41）



付図 41

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

(3) 性　能

ア　AB14L 単体

開回路ゲイン	1000倍以上　1300倍以下(400c/s)
最大出力	45V(r.m.S)以上(10KΩ負荷)
+24V 入力電流	60±5mA

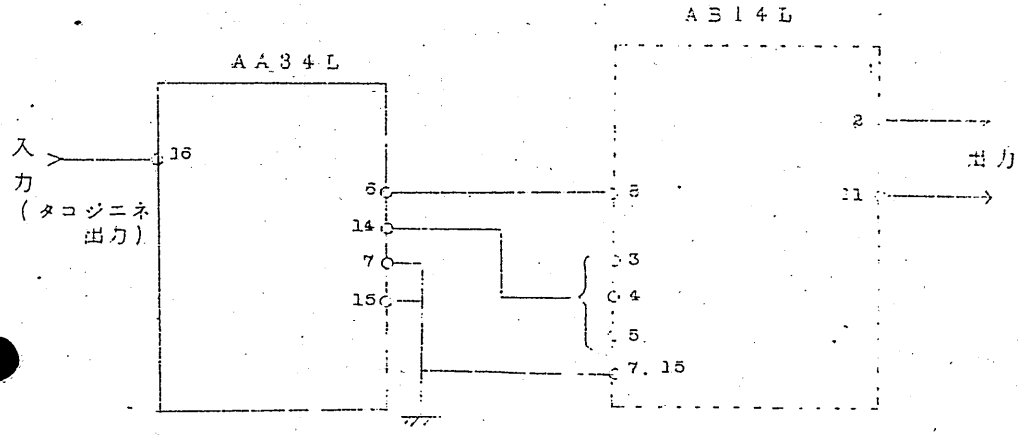
イ　AB14L+AA34L

注：出力はAB14Lピン2．11間

			フイードバック トランスピン 9ヨリ	フイードバック トランスピン 10ヨリ	フイードバック トランスピン 11ヨリ
ゲイン可変範囲 (位相10°)	無負荷	AA34L R11	31倍	12倍	7倍
		〃 R11	22倍	8倍	5倍
	10KΩ負荷	〃 R11	23倍	1.2倍	7倍
		〃 R11	20倍	8倍	5倍
最大出力	無負荷		60V(rmS)	60V	55V
	10KΩ負荷		50V	45V	35V
ノイズ	無負荷		2.5mV(rmS)	1mV	1mV
	10KΩ負荷		2mV	1mV	1mV
位相調整範囲 AA34L R10	無負荷		0～+21°	0～+22°	0～+24°
	10KΩ負荷		0～+21°	0～+22°	0～+24°
出力インピーダンス			750Ω	530Ω	520Ω

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



付図 42

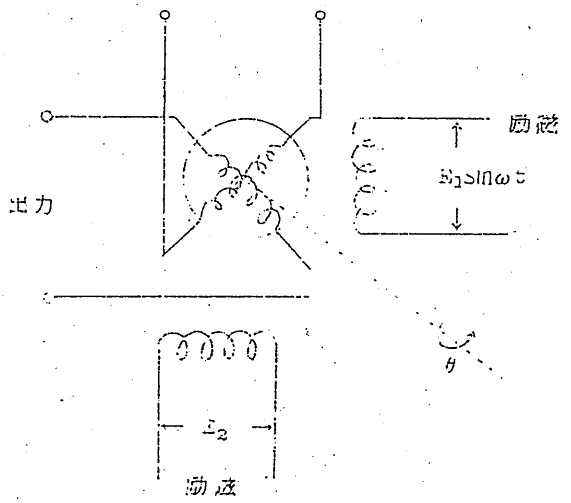
10. AB15L増幅器

(1) 概 要

AB15L 増幅器はシンクロレゾルバのバッファ用として用いられる。レゾルバ(Resolver)は励磁巻線(1次側)と出力巻線(2次側)を有しており、各巻線共空間的に90°の関係位置にある二つの巻線がある付図45はその接続図を示す。

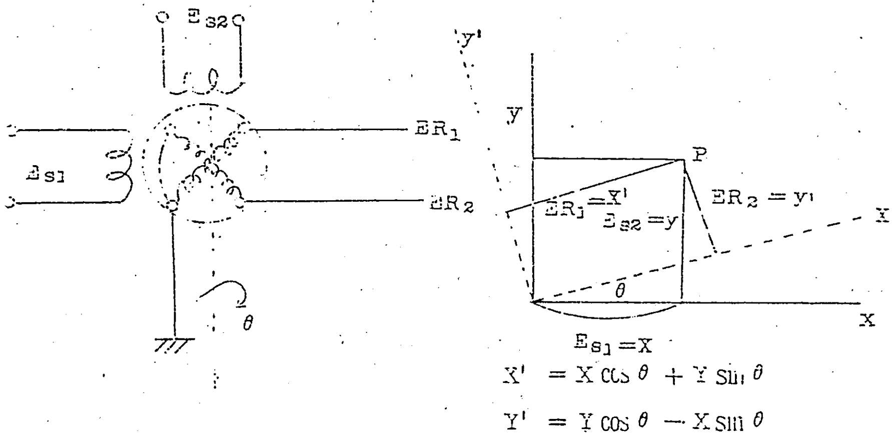
http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



付図 45

レゾルバの出力巻線には、軸の回転角を θ とすれば $E_1\cos\theta\sin\omega t$，もう一つの巻線には $E_1\sin\theta\sin\omega t$ の電圧が発生する。（ただし $E_2=0$ の時）このレゾルバを用いれば座標変換を行なうことができる。



$$X' = X\cos\theta + Y\sin\theta$$

$$Y' = Y\cos\theta - X\sin\theta$$

付図 46　座標変換回路

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

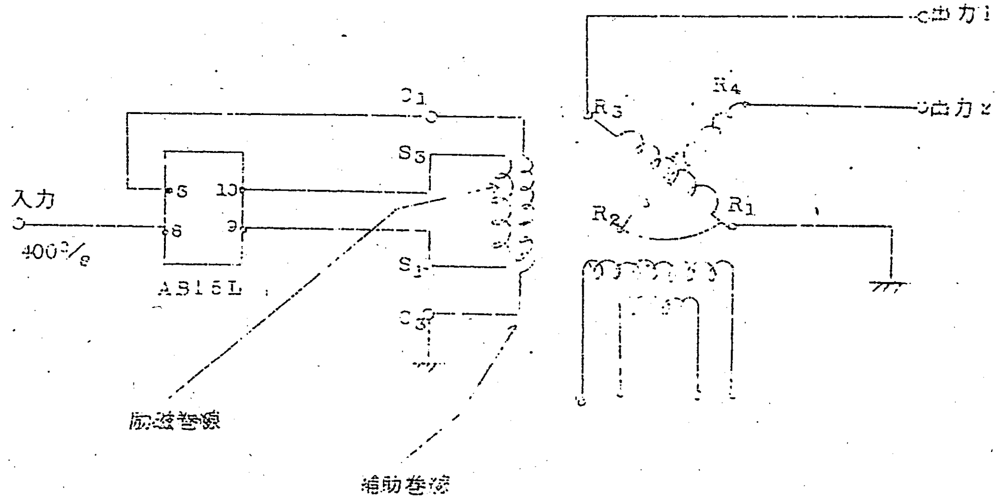
HP『海軍砲術学校』公開資料

付図46において、直角座標x，yにおける与えられた点Pの座標E_{S1}，E_{S2}をレゾルバの固定子に与えると、座標軸をθだけ回転して得られる新座標系x'，y'における同じ点の座標E_{R1}，E_{R2}は回転子の二つの巻線の出力電圧として与えられる。

$$E_{R1} = E_{S1}\cos\theta + E_{S2}\sin\theta$$

$$E_{R2} = E_{S2}\cos\theta - E_{S1}\sin\theta$$

以上は普通のレゾルバであるが35CSに用いられているレゾルバは高精度を要求される関係上，帰還レゾルバを用いている。これは普通の2個の固定子巻線の他に別に補助の固定子巻線が二つあつて、これが主巻線に結合している。各主巻線（励磁側）は増幅器により付勢され、補助巻線の中に誘起された電圧を帰還することにより、入力電圧と出力電圧との間の直線性が非常に良くなる。（付図47参照）

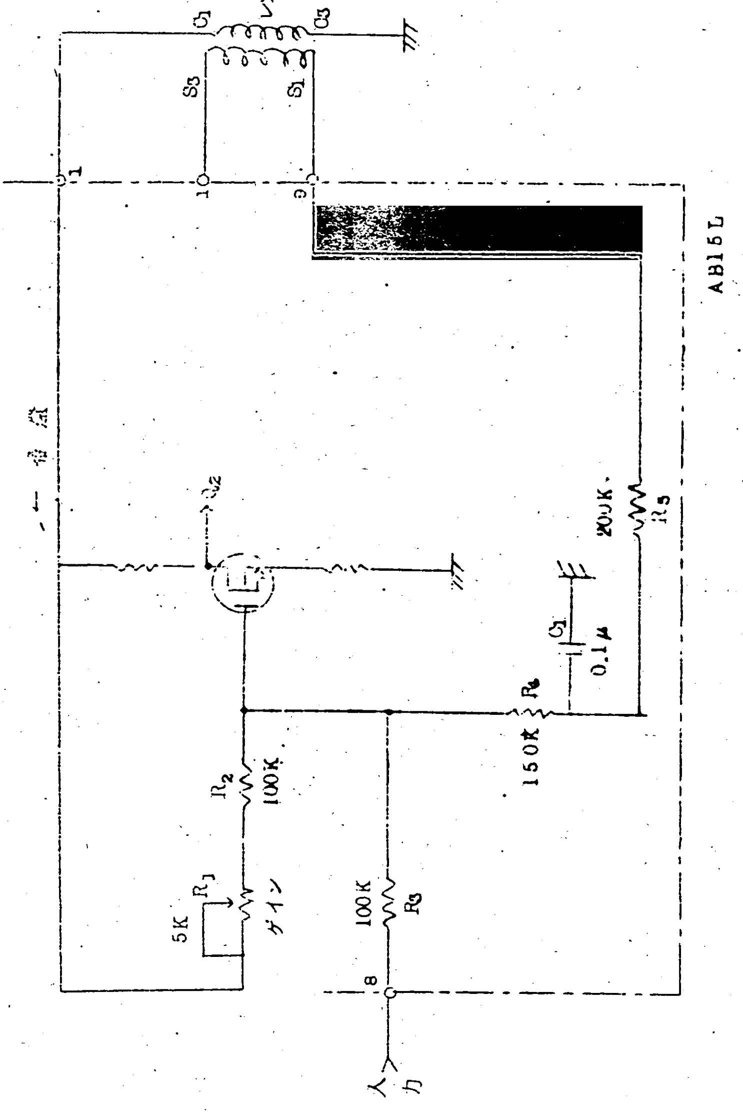


付図47　補助巻線によつて帰還を施したレゾルバ

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

(2) 回路の動作

ＡＢ１５Ｌ 増幅器も回路構成はＡＢ１４Ｌ増幅器とほぼ同一である。（ＡＢ１４Ｌ参照）レゾルバの励磁巻線と補助巻線間の電圧・変圧比は約１であるがゲインを正しく１に調整するためにR1 の可変抵抗器を有している（付図48）



付図 48

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

付図48においてR_5，C_1，R_4　は低周波発振防止用の低域補償回路である。すなわち、出力トランスT₁の2次側から帰還された400c/sの信号はR_5，C_1のフィルタで約1/50に減衰される。故に400c/s においての帰還はほとんどなく全体のゲインはR_3とR_1＋R_2の比で決まる。しかし、低周波（数サイクル）はR_5，R_4を通して帰還され低域における位相余有を得ることができ、特にレゾルバのようなインダクタンス負荷を伴う帰還増幅器では有効である。

(3) 性　能

開回路ゲイン	約500倍（400c/s）
最大出力	17V（r.m.S）以上
歪　率	0.3％以下（15V出力時）
+24V入力電流	60 ± 5mA

11　AC3S増幅器

(1) 概　要

AC3S増幅器は計算回路に用いられる演算用増幅器である。演算増幅器に要求される性能は一般に次のようなものである。

- 。高ゲイン
- 。低出力インピーダンス
- 。低歪率
- 。低ノイズ

ア　高ゲインが要求されるのは、演算増幅器は、全てフイードバック回路で使用されるためその演算誤差は増幅器の開回路ゲインをμとすれば約$1/\mu$で示されるから、μが大きいほど誤差が小さくなるからである。AC3S増幅器では開回路ゲイン2000倍以上を有している。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

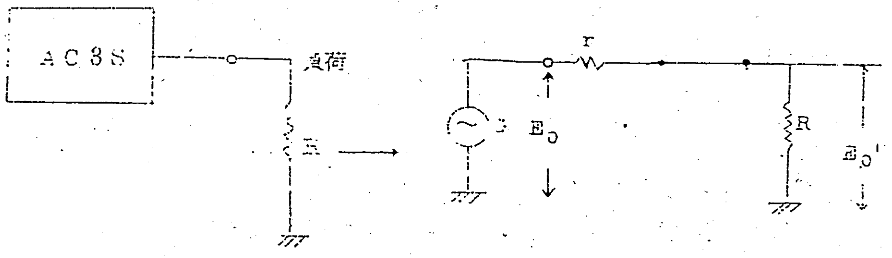
HP『海軍砲術学校』公開資料

イ　低出力インピーダンスはインピーダンスマッチングのために必要である。例えば付図2−6−3−52において演算増幅器の出力インピーダンスをrとすれば負荷抵抗Rを接続することにより出力E_0は、

$$E_0' = E_0 \cdot \frac{R}{R+r}$$

E_0：無負荷時の出力電圧

となり負荷抵抗により出力電圧が変動する。計算回路のような高精度を要求されるところではこのことは不都合であり、できる限り出力インピーダンスの低いことが望まれる。AC3S 増幅器にフイードバックをかけゲイン1の状態における出力インピーダンスは約10Ω である。



付図51　等価回路

ウ　計算回路においての演算電圧の歪みはサーボ増幅器の飽和等を起し、計算誤差の増大となる。故に各演算増幅器単体の歪みも最少にする必要がある。AC3S 増幅器における歪率は0.05％以下である。

エ　演算増幅器のノイズは31項と同様計算誤差の増大となる。AC3S 増幅器のノイズは2mV（r，m，s）以下である。

以上のようにAC3S 増幅器は演算増幅器としての性能を十分満足しているるAC3Sを計算コンデンサと組合せ使用するときはAA7−a，

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

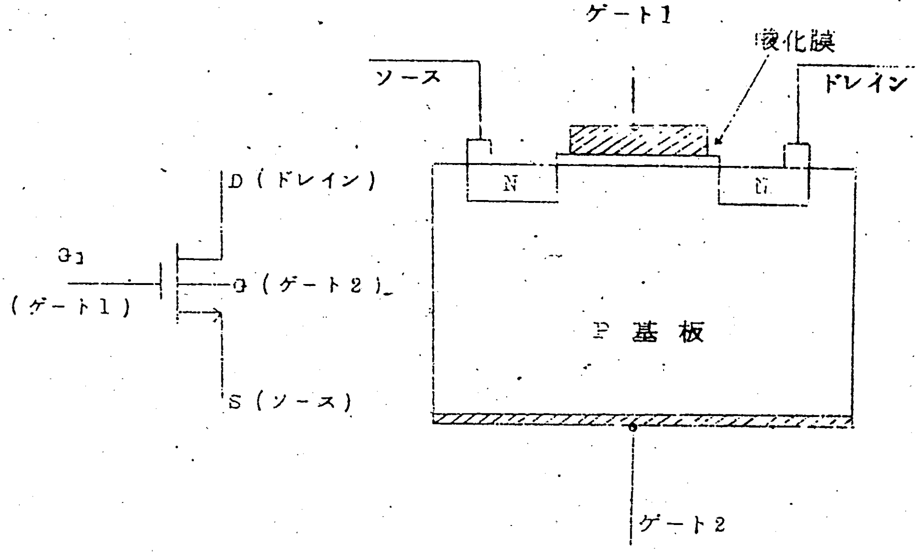
HP『海軍砲術学校』公開資料

Dのアダプタ、加算積算をするときはAA8Sのアダプタ、 割算をするときはAA10、AA11Sの各アダプタを使用する。（5参照）

(2)　回路の動作

計算コンデンサの出力インピーダンスは400c/sにおいて数MΩに達するこの信号を増幅するためにAC3S 増幅器の入力インピーダンスは高いことを要求されその目的のため、初段には電界効果トランジスタを用いている。

電界効果トランジスタは第52図のような構造を持ち、その入力インピーダンスは10^{14}Ωにも達する。



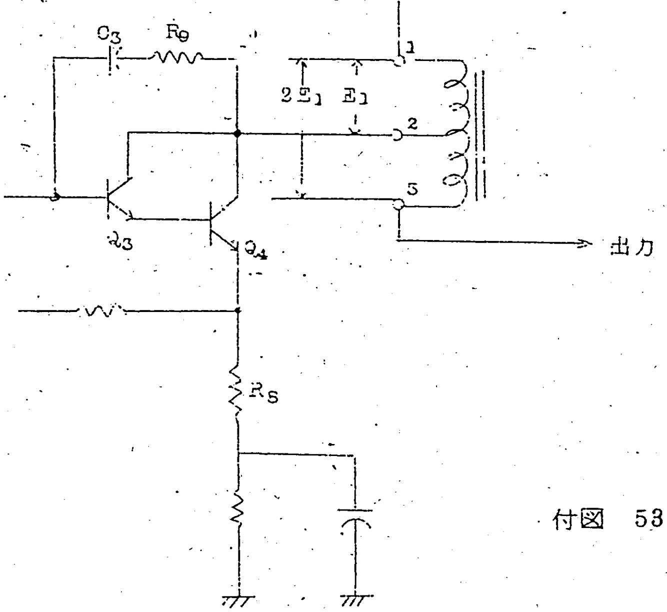
付図52　MOS型電界効果トランジスタの構造

R_1はQ1のゲートリーク抵抗であり電界効果トランジスタの保護のためである。Q1でインピーダンス変換された信号はQ_2 Q_3 Q_4の三段増幅器で電圧増幅され出力トランスT_1端子3から出力信号として取り出される。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

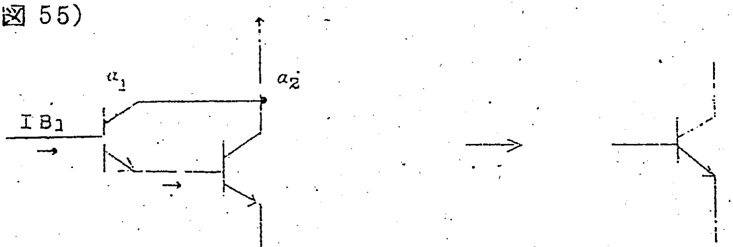
出力トランスT1は単巻トランスの構造を有し、付図54に示す如くQ4のコレクタに発生する電圧の倍の電圧を出力として取り出すことができる。（オート・トランスという。）



付図　53

Q3，Q4はダーリントン接続であり電流増幅率の増大を計つている。

（付図55）



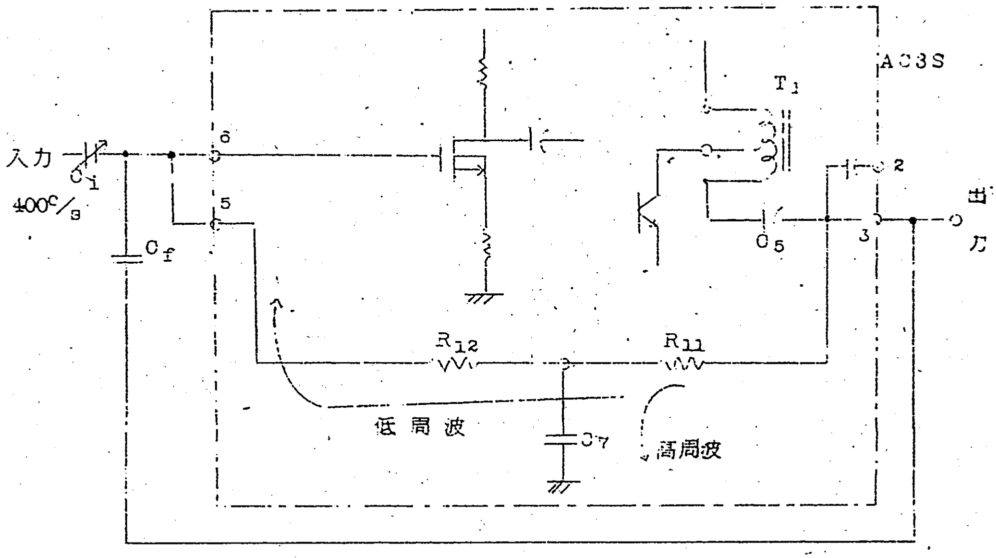
$$\frac{1}{1-\alpha_1}I_{B1} \qquad \frac{1}{1-\alpha_1}I_{B1}\times\frac{1}{1-\alpha_2}$$

$$\alpha' = \left(\frac{1}{1-\alpha_1}\right)\left(\frac{1}{1-\alpha_2}\right)$$

$$\beta' = \frac{1}{\alpha'} \fallingdotseq \beta_1\beta_2$$

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

Q_2 と前述のダーリントン回路は直結方式の増幅回路である。R_{10} は Q_2 にバイアスを与えるためと直流帰還をかけ温度変化、トランジスタのバラツキ等による動作点の変動を防いでいる。R_8 は電流帰還用の抵抗であり増幅度の安定化を計つている。R_9 、C_3 の直列回路は高周波発振防止用である計算コンデンサを使つた演算回路ではフィードバック素子にコンデンサを用いる関係上低周波領域における位相余有が得られなくなり発振を起す。R_{11} 、C_7 、R_{12} は低周波分を入力に帰還することにより低域における発振防止用である。(付図 55)

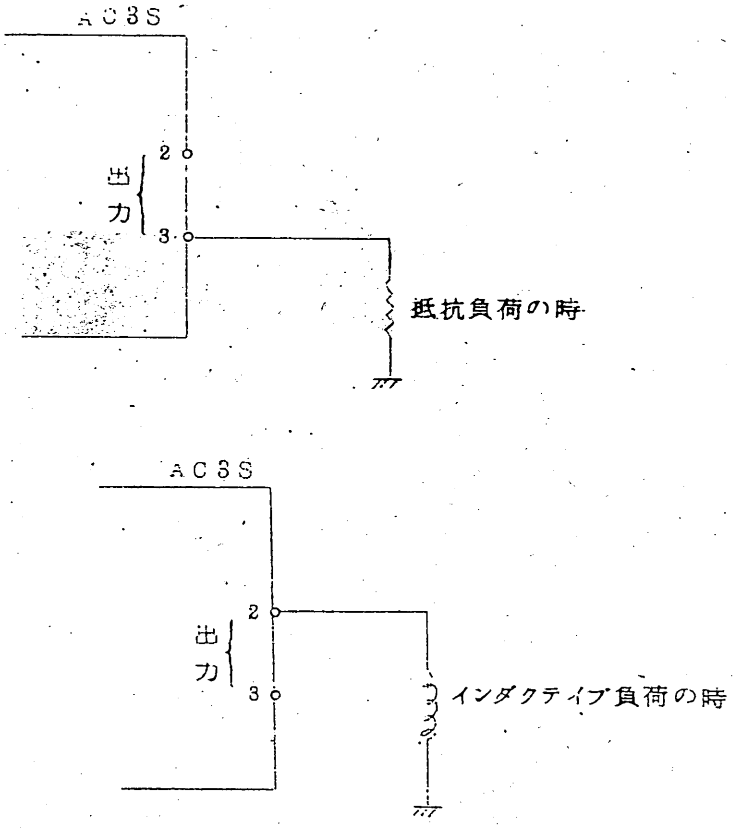


付図 55

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

ＡＣ３Ｓ増幅器の負荷は純抵抗負荷、又は計算コンデンサ励磁用トランス等のインダクティブ負荷の２種類がある。純抵抗負荷に関しては問題ないがトランス等のインダクティブ負荷では低周波領域においてゲインの減衰が激しく（位相余有が得られなくなる）、発振を起す可能性がある。その防止のためインダクティブ負荷に関してはC_6のコンデンサを通して供給している。（付図　56）



付図　56

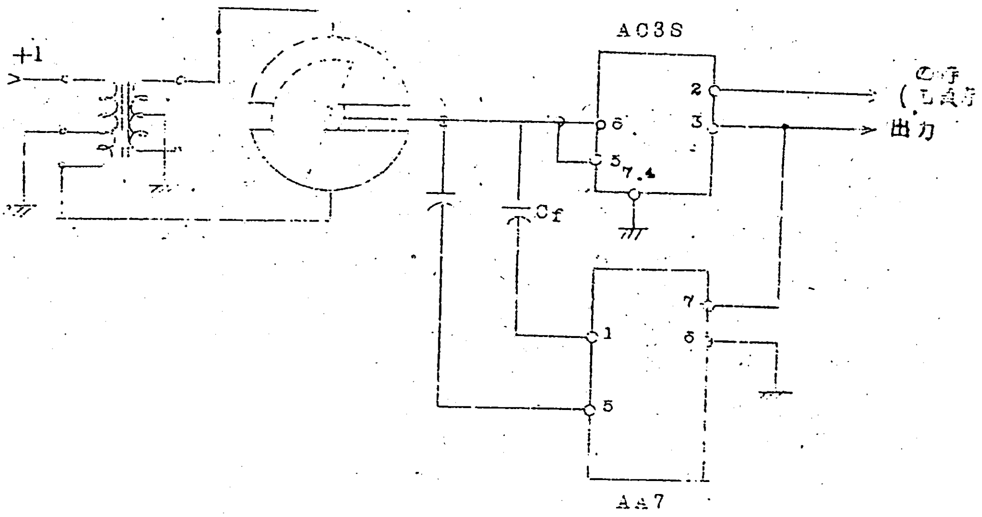
http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

(3)　使用例

ＡＣ３Ｓ増幅器と他のアダプタを組合せた使用例を次に述べる。

ア　計算コンデンサを用いる場合（乗算回路）



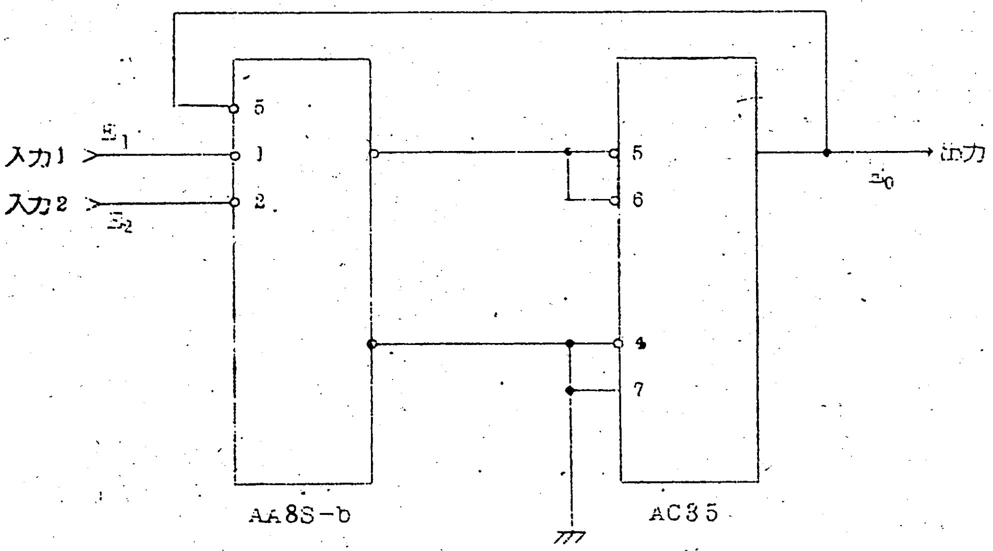
付図　57

付図57は直線形計算コンデンサを使用する場合の回路である。計算コンデンサの出力はフイードバックコンデンサＣｆからのフイードバック信号と加算されＡＣ３Ｓの入力（ピン５，６）に加えられ、増幅されピン３より取り出される。ＡＡ７アダプタに関しては２－６－３－１）参照のこと。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

イ　加算演算を行なう場合



$E_0 = -(E_1 + E_2)$

付図　58

付図58は加算演算を行なう場合の回路である。加算演算は演算増幅器の使用では最も簡単な回路であり、AA8S（a～az）アダプタと組合すことにより種々の系数を持つた演算を行なうことができる。

(4)　性　能

開回路ゲイン	2000倍以上
最大出力	23V（r.m.S）以上（39KΩ負荷時）
ノイズ	2mV（r.m.S）以下（ゲイン1の時）
+24V入力電流	9±2mA

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

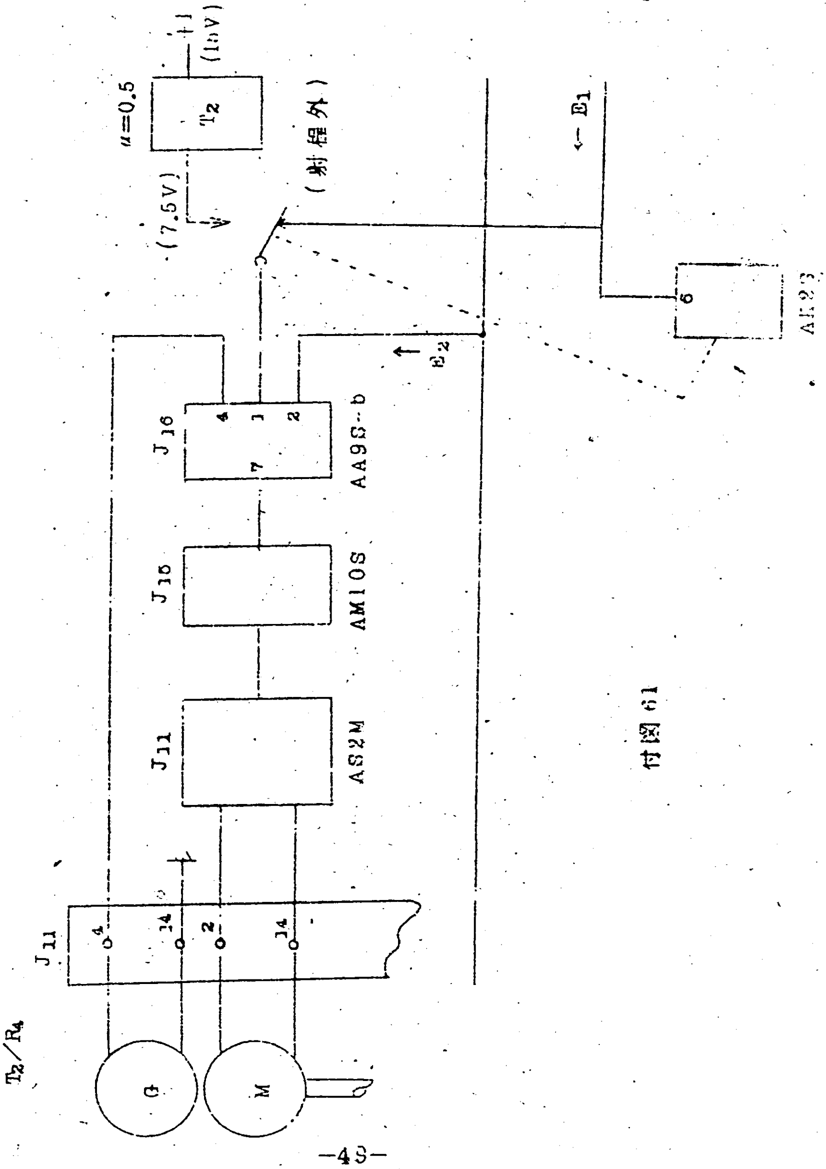
HP『海軍砲術学校』公開資料

12　AK2S増幅器

(1)　概　要

AK2S増幅器は計算回路における演算電圧を検出し一定レベル以上の電圧が発生した時その回路を切断する目的のためにある。

付図61は射撃盤 E_1/E_2 軸に使用されている一例である。



付図61

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

すなわち付図61においてT_2/R_4軸は$E_1 = -E_2$ となるように制御されるわけであるがE_1が非常に大きくなつた場合、（実際はR_4が大きくなり射程外となつた時）AK2Sでその電圧を検出しリレーによりT_2/R_4軸への入力を一定電圧（7.5V）に切換えT_2/R_4軸の暴走を防いでいる。E_1が正常範囲に入れば元の状態に自動的に復帰する。

(2) 回路の動作

AK2S増幅器は次の3回路より構成されている。

- 交流増幅部
- 整流部
- シュミット回路部

入力電圧はR_1とR_2の可変抵抗器で分割され、Q_1のベースに加えられる。R_2の可変抵抗器はレベル設定用であり、システムで決まる値に設定される。

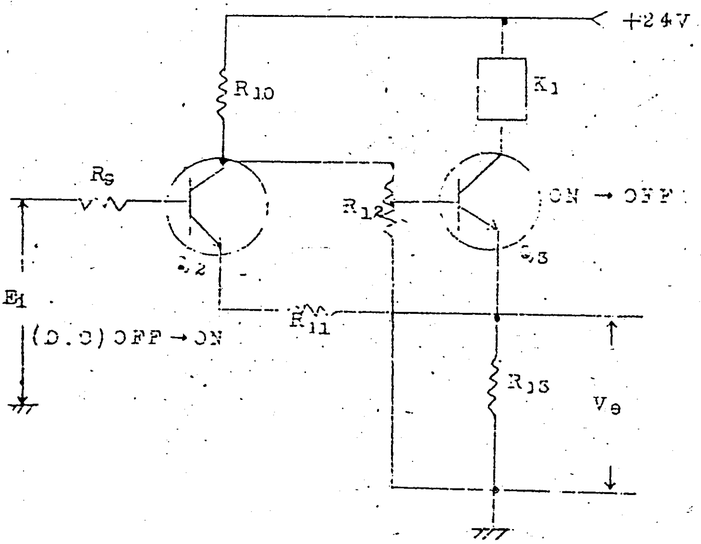
例えば、前述のT_2/R_4軸では7.5V（r.m.s）

Q_1はトランスT_1を負荷とするA級増幅器である。R_3、R_4はバイアス用R_5、R_6は電流帰還用である。Q_1で増幅された交流信号（400$^c/_s$）はCR_1、CR_2のシリコンダイオードにより全波整流され直流に変換される。R_7、C_3は平滑用のフイルタ回路を構成している。

Q_2、Q_3はシュミット回路である。（付図62）

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



付図 62　シュミット（Schmitt）回路

付図62において、$E_1 = 0$ の時 R_{12} の電圧降下（V_e）で Q_2 はOFF，Q_3 は R_{12} によりONとなるように調整する。今入力電圧 E_1 が正の電圧で上昇し $E_1 > V_e$ となると Q_2 がONとなり Q_3 のベース電圧が下り Q_3 は瞬時に、カットOFFになる。E_1 が下り $E_1 < V_e$ になると状態は反転し，再び元の関係（Q_2 = OFF　Q_3 = ON）に復帰する。

すなわち E_1 の大きさにより，リレー K_1 をON，OFFすることができる。

E_1 は前記の交流出力を整流平滑した電圧であるから結局AK2Sの入力電圧（400 c/s）の大きさによりリレーをON，OFFすることができる。

(3) 性　能

ヒステリシス　　0.1V（r.m.s）以内

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

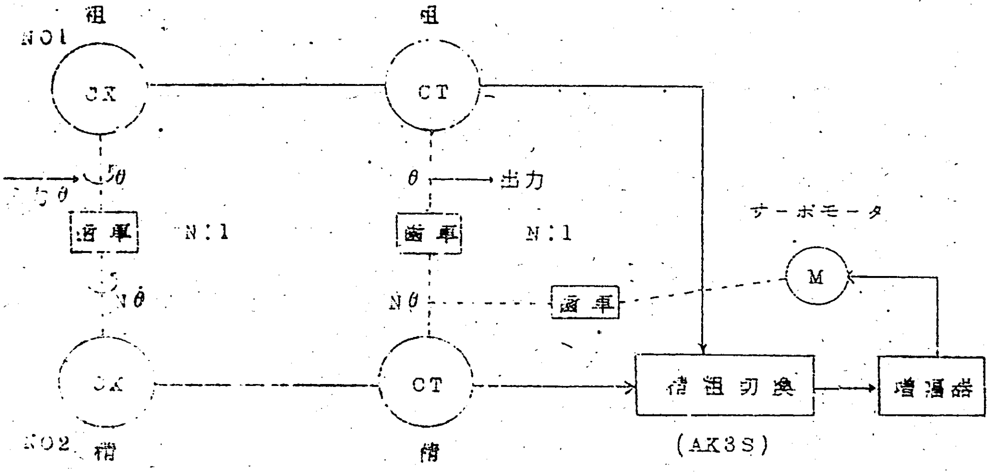
HP『海軍砲術学校』公開資料

13　AK3S増幅器

(1)　概　要

AK3S増幅器はシンクロ電機の精粗切換用増幅器である。角度伝送を行なう方法としてはシンクロ電機を用いるのが最も一般的であるが、シンクロ電機単体の誤差が一級品で約8分位あり高精度を要求される角度伝送系は、すべて2速度系による角度伝送を行なつている。

2速度系は付図65に示すごとくNo.1．No.2の二つの系があり第2の系を第1の系に機械的に歯車結合する。



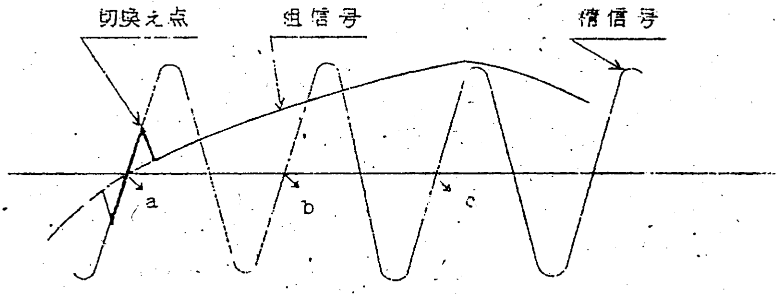
付図65　2速度シンクロ系

結合比Nは大体18～36である。No.2の高速（精）系はNo.1の低速（粗）系の1回転に対してN回転する。高速系は小さな角度誤差を制御するようにする。それは歯車結合によつて制御される回転軸の1度当たりの誤

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

差に対して、より大きな誤差電圧を生ずることになり、したがつてより高感度の制御を行なうからである。しかし、この高速度系は、被制御軸の１回転当たりにn個の異なつた平衡位置を有する。この不都合をさけるために誤差がある一定限度以上になると高速系から低速系に制御を切換えるようにすればよい。付図 66 は精、粗シンクロ電機の出力を示す。



付図　66

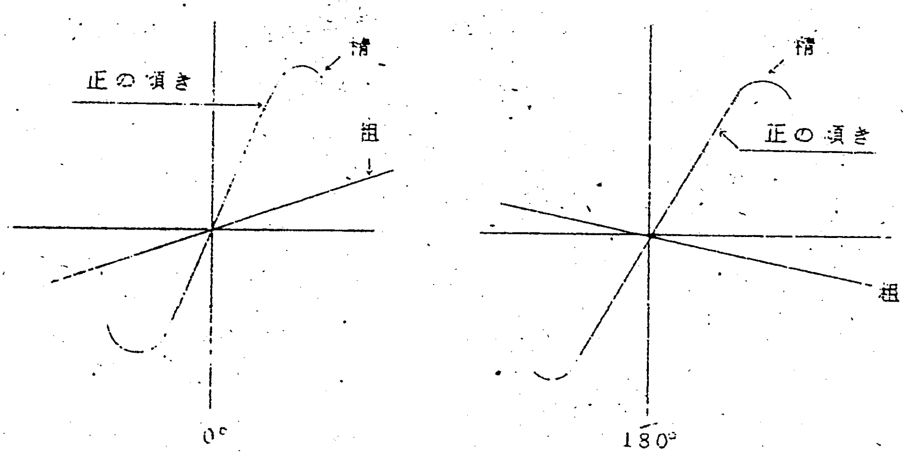
付図 66 に示すごとく低速系は大きな角度誤差を制御し、a 点のみで平衡位置を与える。もし低速系がない場合はa，b，c 各点で平衡位置を有することになる。付図 2－6－3－67 の太線は精、粗切換後の出力(ＥＫ3Ｓの出力）を示す。 2速度シンクロ系で一つ厄介な問題がある。それは二つの系の歯車比が偶数の場合には 180° の点が安定位置を与えることである。

付図 67 は二つのシンクロの出力を 0° 及び 180° の近傍について示したもので歯車比が偶数の場合、高速系（精シンクロ）の電圧曲線の傾きは 0° でも 180° においてもいずれも正である。そして 180° においては 低速系（粗シンクロ）は切放されているわけであるから、ここでは実際の

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

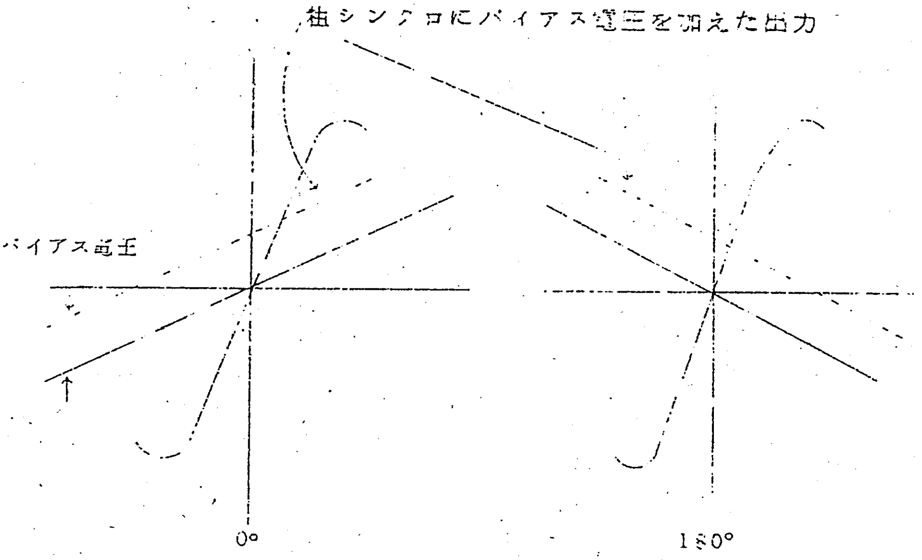
送りと受けの軸間に180°の誤差があるにもかかわらず、高速系のシンクロのみで安定位置と判断し、サーボはこの位置で止まり不都合である。



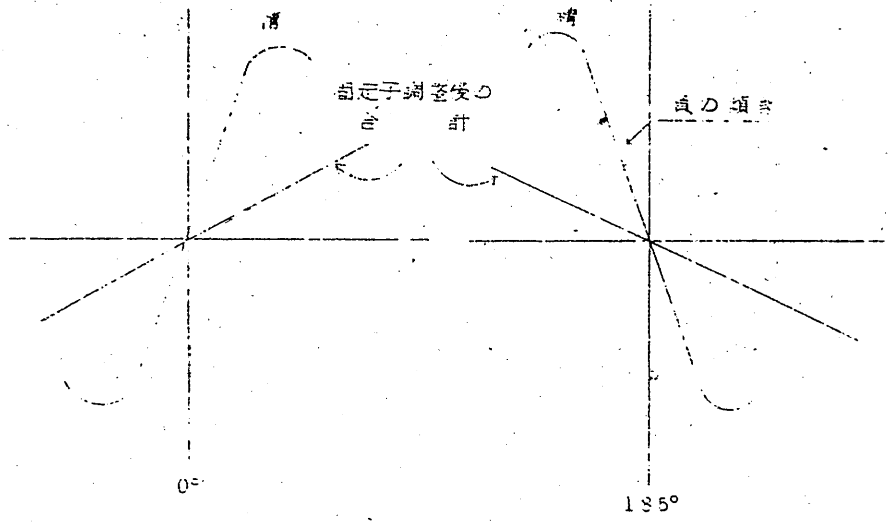
付図 67

偶数比の歯車、特に360°の回転角との関係から36という歯車比が一般に用いられる。このような偶数比を用いた時、上述の不都合を避けるため"バイアス電圧"という一定電圧〔2.5V(r.m.s)〕を低速系シンクロの出力に加え、その上で低速系シンクロの固定子をずらせてゼロ点を再調整して、高速系シンクロのゼロ点と合わせてやる。そうすると低速度シンクロの185°の点では高速度シンクロの出力ゼロになり、しかもその傾斜は共に負にすることができ、185°の点で安定位置を与えるようなことはなくなる。（付図68）

http://navgunschl.sakura.ne.jp/



(b) 低速度系出力にバイアス電圧を加えたとき。



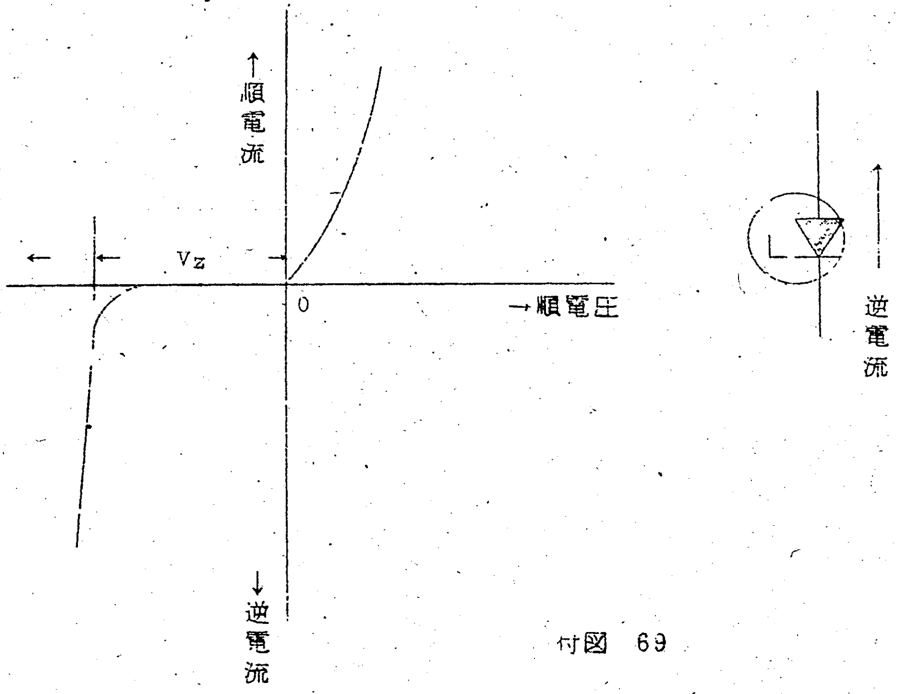
付図 68

(c) 低速度系シンクロの固定子を調整した後の出力

HP『海軍砲術学校』公開資料

(2) 回路の動作

ＡＫ３Ｓ増幅器の動作をよりよく理解するために、CR1，CR2 のゼナーダイオードの特性について述べる。



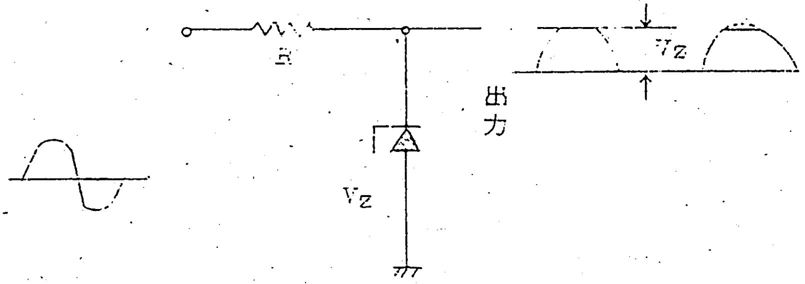
付図 69

付図2−6−3−70 はゼナーダイオードの特性を示したものである。ゼナーダイオードとは、ダイオードのゼナー効果を利用した半導体で、ダイオードの逆方向電圧を増していくとある点で、急に逆電流が流れる現象を利用したものである。逆電流が流れ始める逆電圧をゼナー電圧と称し V_z で表わす。順方向特性は普通のダイオードと全く同じ特性である。ゼナーダイオードにゼナー電圧以上の電圧を加えると端子電圧はほとんど変化せず電流が急激に増加する。いわゆる定電圧特性を示し基準電圧として用いることができる。またある電圧をゼナー電圧でクリップした

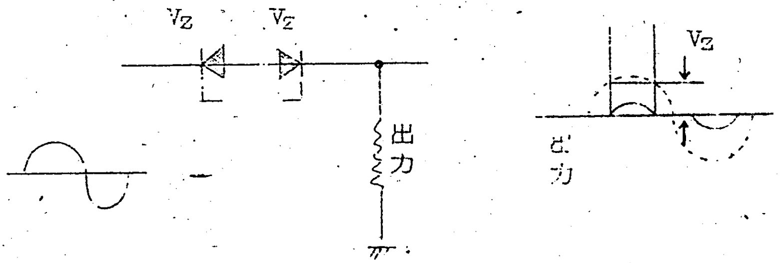
http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

り（付図70）あるいはゼナー電圧まで不感帯を設けたりすることができる。（付図71）



付図 70



付図 71

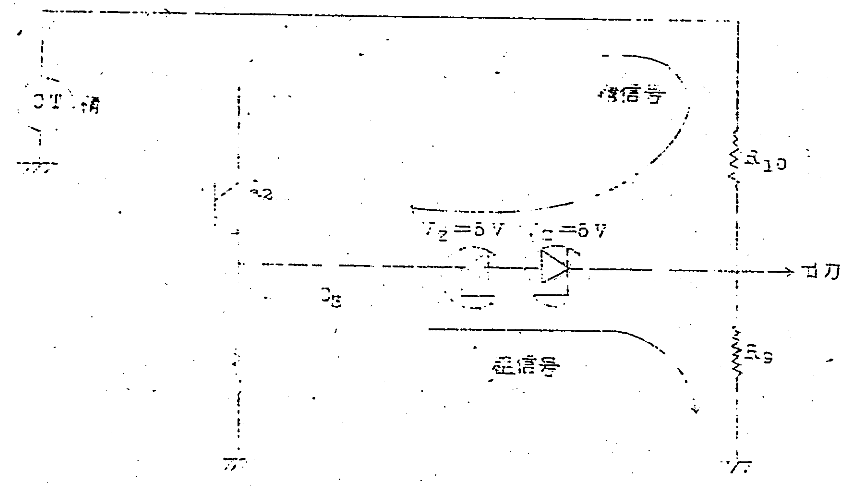
低速度系（粗用）シンクロ出力は前述のバイアス電圧を加えた後，R_1，R_2で分割されQ_1のベースに加えられる。Q_1は高入力インピーダンス（約100KΩ）の交流増幅回路である。すなわちQ_1のエミッタ抵抗R_6に発生する電圧をC_2，R_4を通し帰還することによりQ_1の入力インピーダンスはR_6のβ倍となる。（βはQ_1の電流増幅率）Q_2はエミッタフォロア増幅器である。エミッタフォロアは真空管のカソードフォロアと全く同じ動作原理であり、低出力インピーダンスを特徴とする増幅回路である。Q_1，Q_2で増幅された信号はCR_1，CR_2のゼナーダイオードで不感帯を有する回路を通しR_9の抵抗に供給される。

この不感帯の目的は2速度系シンクロ制御において誤差が一定限度以上

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

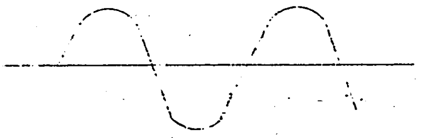
HP『海軍砲術学校』公開資料

になつたとき精シンクロより粗シンクロに切換える必要上設けられたものである。すなわち粗シンクロが2.5°以内の誤差ではR_9には粗シンクロの信号は現われず、R_{10}を通して精シンクロ（36X）の信号のみ生ずる。誤差が2.5°以上になるとQ_2のエミツタには約10V（P－P）の電圧が生ずる－CR_1、CR_2が導通しR_9に粗信号の電圧が現われる。CR_1、CR_2が導通するとそのインピーダンスは非常に低くなりR_{10}の高抵抗を通しての精信号に短絡状態となりR_9には表われない。結局シンクロ信号は精信号より粗信号に切換わつたことになる。（付図72）

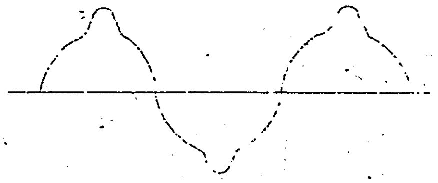


http://navgunschl.sakura.ne.jp/

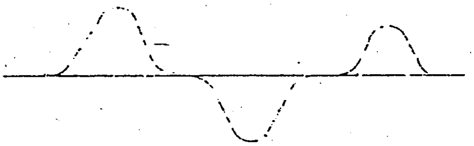
HP『海軍砲術学校』公開資料



精信号のみ



粗信号が出始めた時



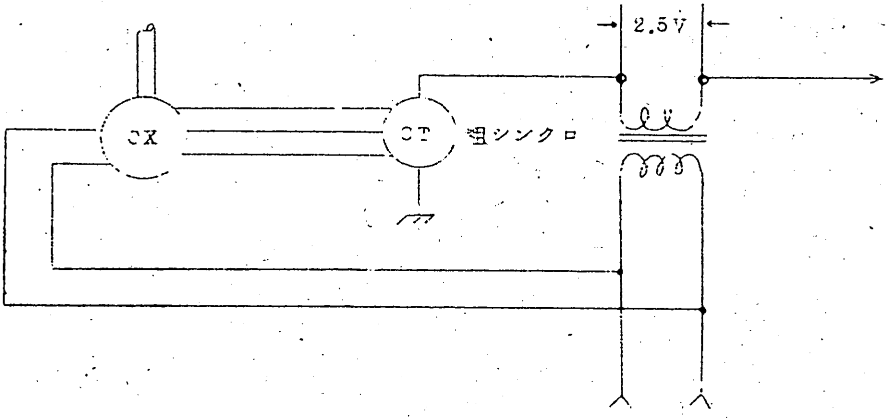
粗信号に切換わつた時

(3) バイアス電圧

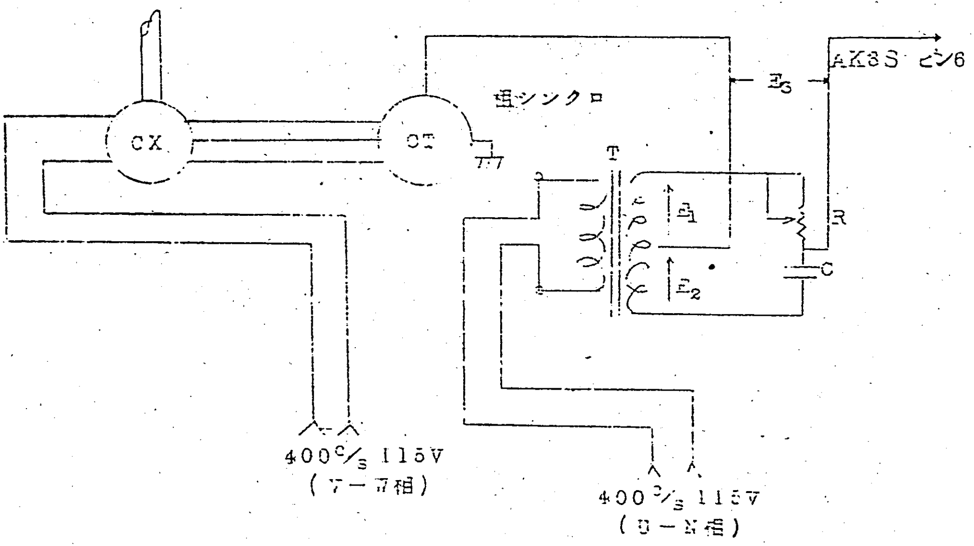
2速度系シンクロ制御においては、歯車比が偶数のときバイアス電圧を加える必要がある。一般には付図73に示すごとく粗シンクロの出力にトランスで一定電圧を加える方法がとられるが、FCS ではより高精度の制御を行なうため付図74のような回路が用いられている。

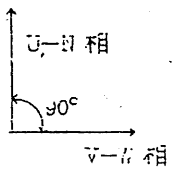
http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



付図 73



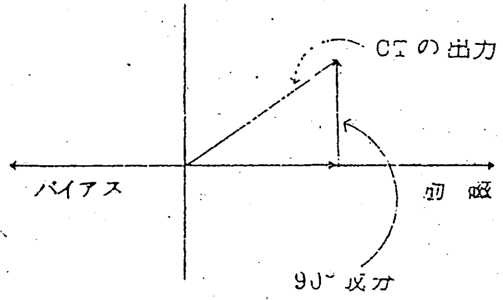


付図 74

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

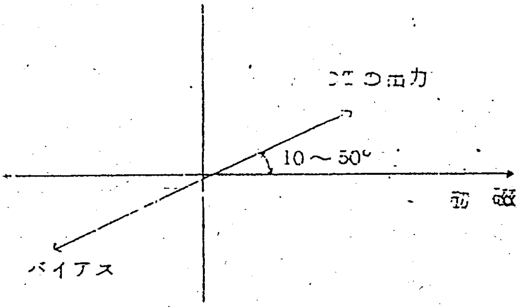
HP『海軍砲術学校』公開資料

すなわち、シンクロ電圧は励磁電圧と出力電圧との間に位相ずれが存在する。これは巻線の抵抗とインダクタンスの関係によつて生ずるものであり、コントロールトランスの出力電圧が送信機の励磁電圧に対して位相が進むのである。この値は約10°～50°位であるバイアス電圧を加える場合付図2－6－3－74 のごとく励磁電圧と同相の電圧を加えれば前述の位相進みのため固定子を回転し零点を求めるとき、90°成分が残り零とならない。（付図75）



付図 75

そのためバイアス電圧を励磁電圧に対しシンクロで進む位相と同等に進んだ電圧を加えれば上記90°成分はなくなる。（付図76）



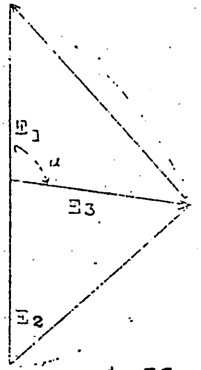
付図 76

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

はR，Cによる位相シフタである。そのベクトル図を付図77に示す。

E_1 と E_3 の位相角 α はRを可変することにより調整できる。E_1 E_2 はシンクロ励磁V－U相より90°進みの電圧であるから E_3 のV－W相に対する位相 θ は



付図 77

（$\alpha = 30 \sim 150°$ 可変）

$$\theta = 90 - \alpha$$

$$= 60° \sim -60°$$

となりシンクロ出力の位相補償ができる。

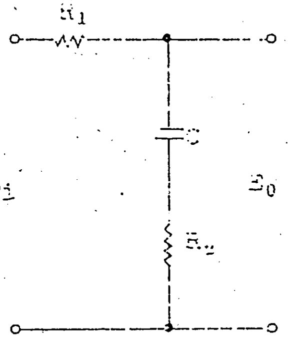
14. AM8E 増幅器

(1) 概 要

AM8E増幅器は交流サーボ系の補償用に用いられる。GFCS計算機は400 c/s 交流サーボ式であるからその特性改善のため入れる補償回路は複雑であり、交流サーボ式においては搬送波（400 c/s）の振幅（包絡線）が問題となる。補償回路においても搬送波から包絡線を取り出す（検波）回路、補償回路、及び補償後の包絡線を再び搬送波にする変調回路が必要である。サーボ系の補償としては一般に「進相補償」「遅れ補償」がありAM8E増幅器は「遅れ補償」（低域補償）を行なつている。遅れ補償回路は簡単なR，C回路網で実現できる。（付図80）

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



$$= \frac{E_0}{E_i} = \frac{R_2 + \frac{1}{j\omega C}}{R_1 + R_2 + \frac{1}{j\omega C}}$$

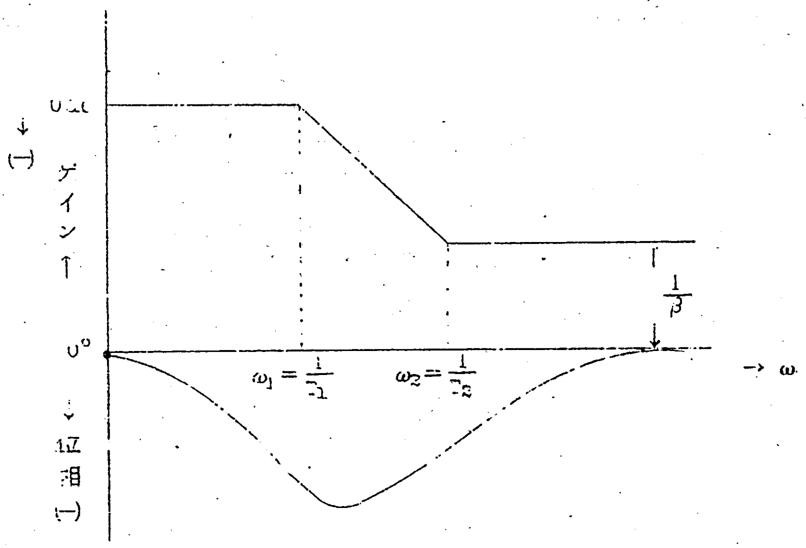
$j\omega \to S$

$$= \frac{SCR_2 + 1}{SCR_1 + SCR_2 + 1}$$

$$= \frac{T_2S + 1}{ST_2 + 1}$$

$$\begin{cases} T_1 = C(R_1 + R_2) \\ T_2 = CR_2 \end{cases}$$

$$\beta = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$



付図 80

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

付図 80 に示すRC 回路網を接続することによりそのゲイン及び位相（入力E_i，対出力E_0間）は周波数により変化するから、システム上より決まる ω_1, ω_2 を選ぶことにより適当な補償を入れることができる。詳細は第　　章を参照のこと。

(2) 回路の動作

AM8E 増幅器は次に示す4つの回路で構成されている。

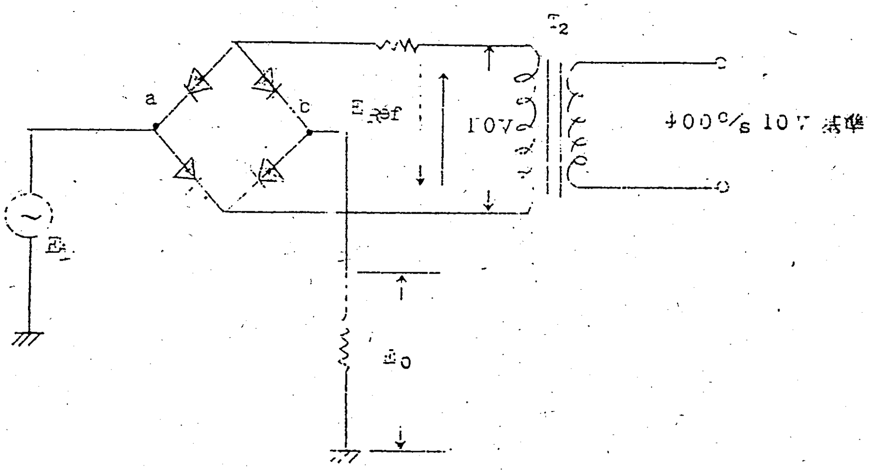
- ○ 交流増幅回路
- ○ 位相検波回路
- ○ 補償回路
- ○ 復調回路

ア　交流増幅回路は θ_1 ～ θ_4 の4段増幅回路である。AM8E 増幅器は入力の数及びその加算比により a，b，c，三種類あるが、その入力抵抗が R23，24，25 である。交流増幅回路はゲインを安定にするためフイードバック方式の回路構成であり R_{26} が帰還抵抗である。Q_1 はインピーダンス変換用 Q_2 は Q_3，Q_4 を駆動するため低出力インピーダンスを持つエミッタフォロア増幅器である。Q_4 は T_1 を負荷とするA級増幅回路であり Q_3 と直結方式となつている。R_{10} は Q_3 のバイアスを与えるとともに直流帰還をかけ動作点の安定を計つている。C_5，C_6 は高周波発振防止用である。Q_1 のゲートからトランス T_1 ピン9までの電圧ゲイン（開回路ゲイン）は約1000倍程度である。

イ　位相検波回路は CR_2，CR_3，T_2 で構成されているが、この回路の動作をよりよく理解するため付図 81 により説明する。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



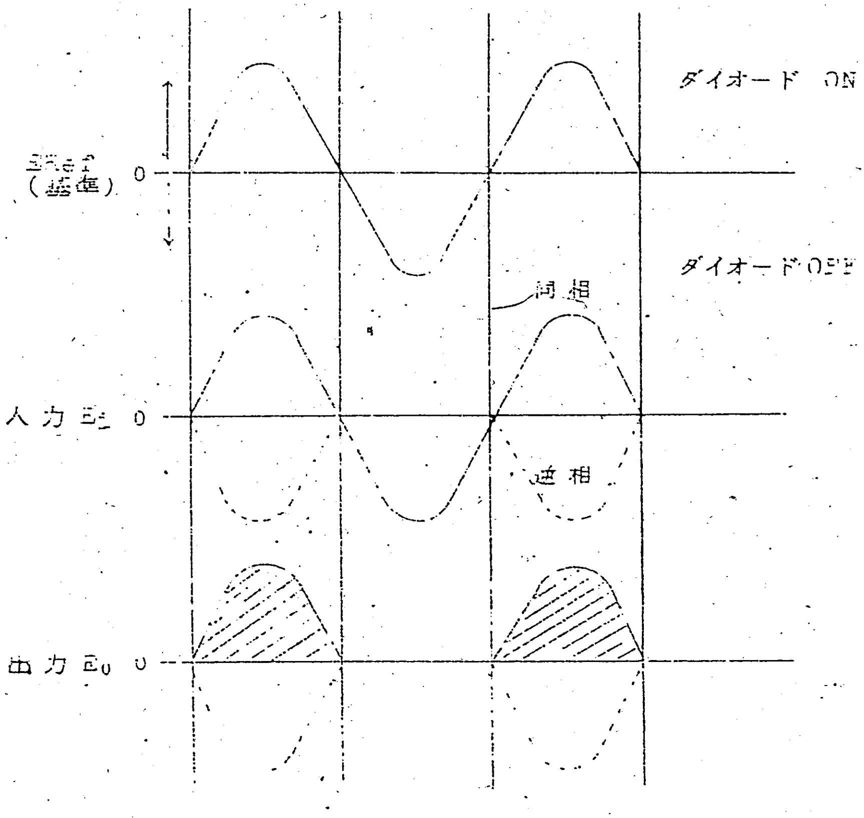
付図　81

付図2－6－3－82においてT_2の二次側に実線のような電圧が発生した半周期を考えると各ダイオードは順方向にバイアスされ（ダイオードは全てONの状態）a点，c点の電位が等しくなる。いま基準電圧（400 c/s 10V）と入力電圧E_iが同相又は逆相の場合E_iの半周期の波形がE_0に現われる。

次にT_2の二次側に点線のような電圧が発生した半周期を考えると、各ダイオードは逆方向にバイアスされ（ダイオードは全てOFFの状態）a点，c点間は数MΩの抵抗を持ちE_0の電圧は入力E_iに関係なく零となる。以上の関係を付図82

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



付図 82

すなわち、位相が90°違つた場合出力E_0の平均値（直流分）は零である。このE_{ref}と入力E_iの位相をθとすれば出力E_0の平均値は

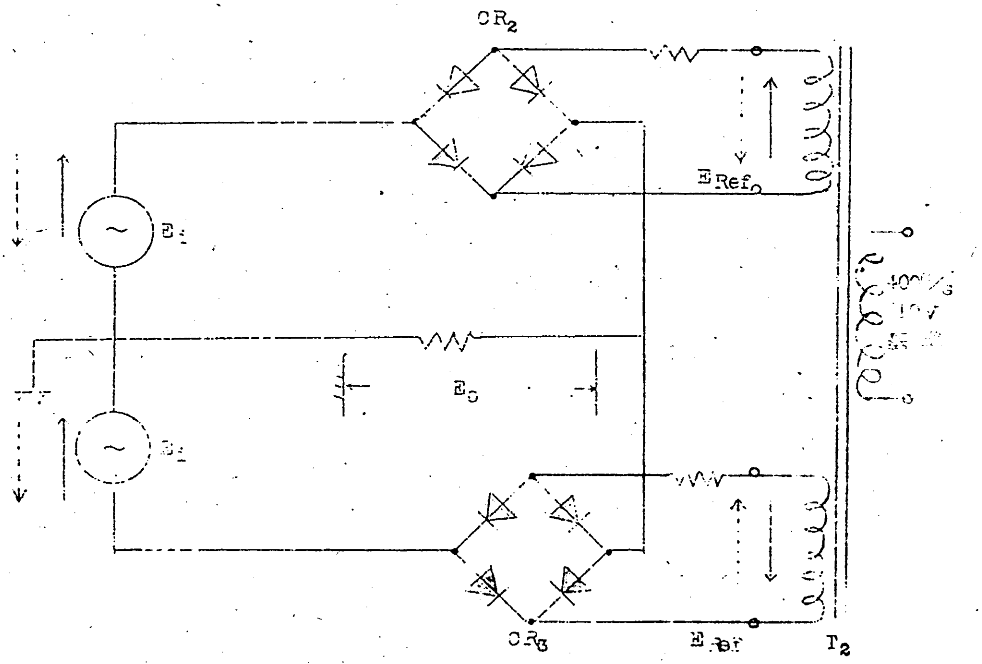
$$E_{0AV} = E_i K \cos\theta$$

で表わせる。Kは定数である。このように位相検波することにより、出力の平均値（直流分）は入力E_iの大きさに比例するとともにその位相差の余弦にも比例する。位相差が180°（逆位相）の場合は出力には負の直流電圧が現われる。以上は半波型位相検波回路であるが、出力E_0

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

の値を大きくするために全波型位相検波回路が用いられる。付図84 に原理図を示す。



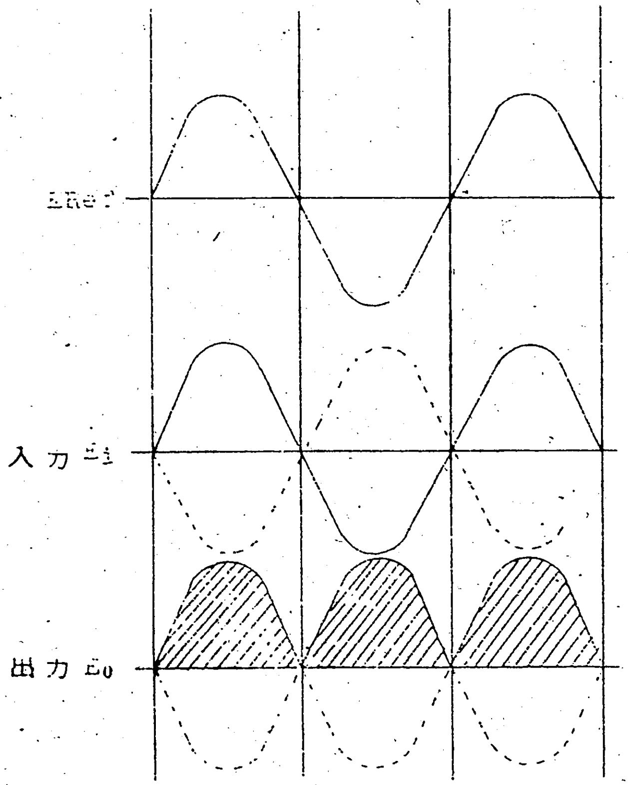
付図 84

いま、E_{ref} に実線のような電圧が発生した半周期を考えると CR_2 の4つのダイオードはすべてON、CR_3 はすべてOFFである。故に E_0 には E_1 の半周期の波形が現われる。次に E_{ref} が点線のような半周期を考えると CR_2 がOFF，CR_3 がONであるから E_0 には E_1 の半周期の波形ー極性は前周期と同じであるーが現われる。

この関係を付図85に図示する。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



付図 85

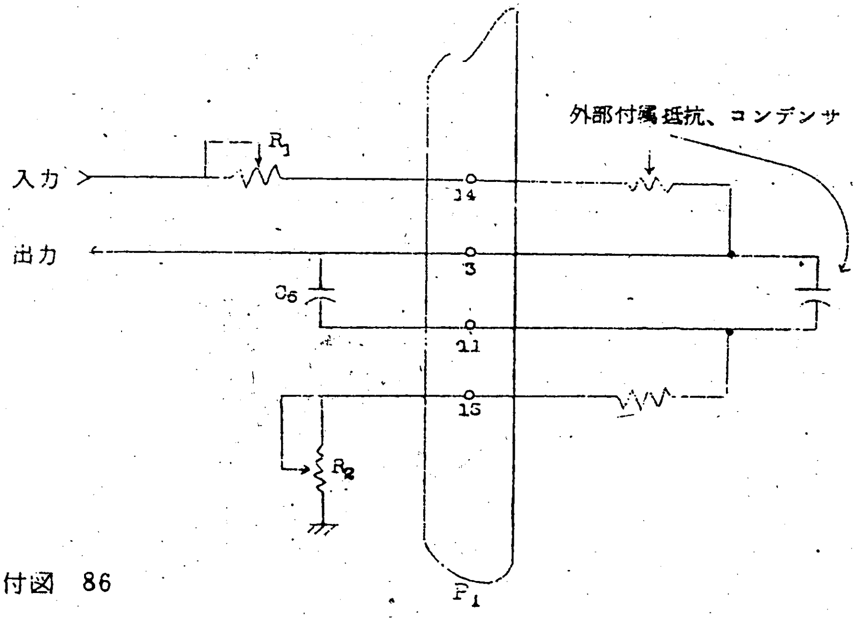
全波型は半波型の倍の直流電圧が得られ能率のよい位相検波が行なわれる。このように位相検波された直流分は次に補償回路に送られる。

ウ　補償回路は R_1，C_6，R_2 の回路網により構成されている。しかし システムで要求される補償を R_1，R_2 の可変抵抗器ですべてカバーすることはできないので外部に付属の抵抗コンデンサ類を設けている。

（付図86）

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



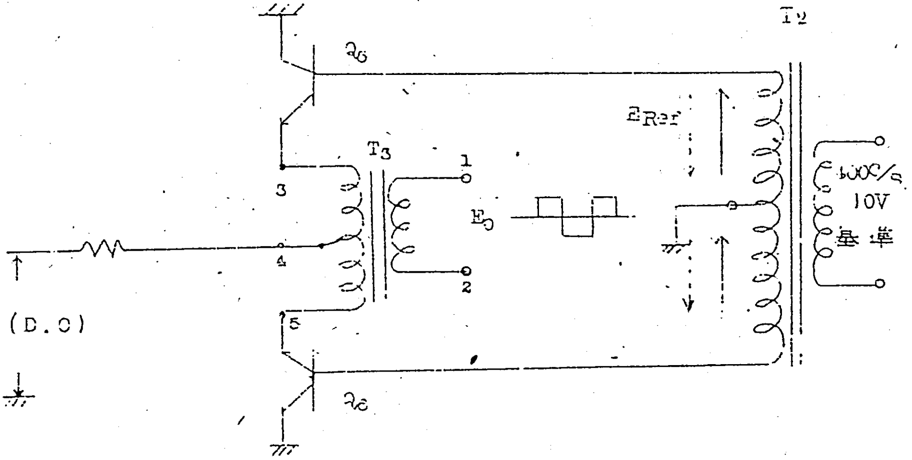
付図　86

R_1，R_2の値は実際のサーボ系に組込まれた後、動的試験により決定される。

エ　補償回路の出力は復調回路に送られる復調回路はQ_5，Q_6及びT_3により構成されている。この回路の原理図を付図87に示す。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

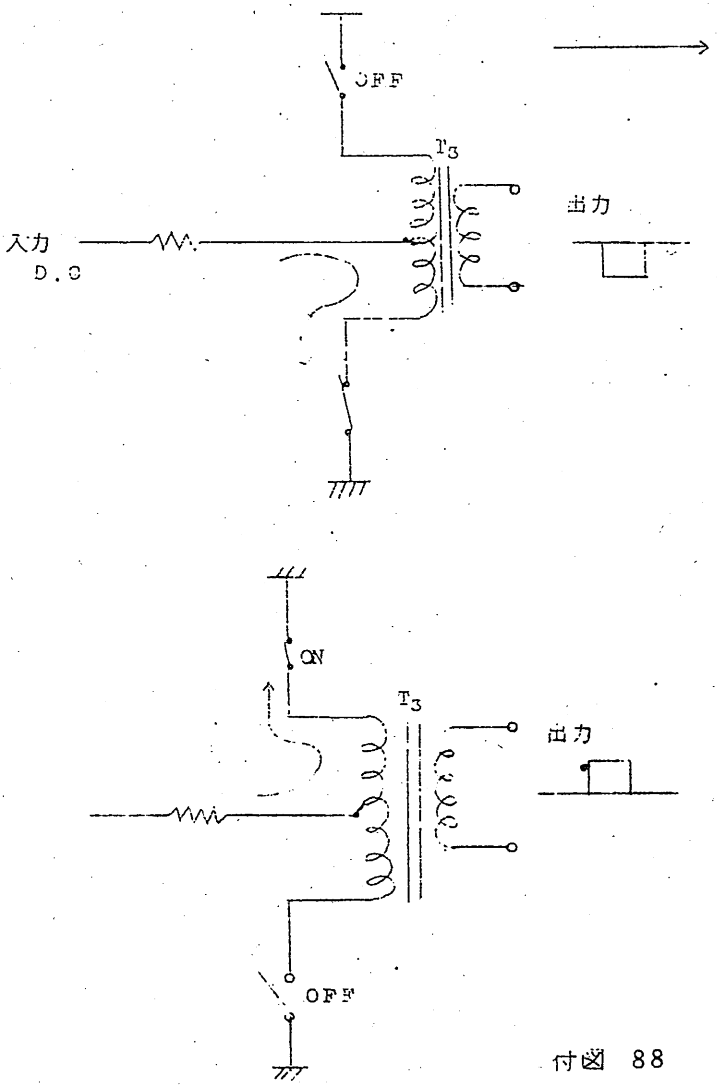


付図　87

いまT_2の二次側に実線のような電圧が発生した半周期を考えるとQ_5のトランジスはコレクタベース間が順方向にバイアスされるのでエミッタ　コレクタ間はONの状態となる。一方Q_6は逆バイアスの状態でOFFである。次の半周期（点線の電圧）ではQ_5がOFF，Q_6がONの状態となる。すなわちQ_5，Q_6は$400^{c}/_{s}$で交互にON，OFFを繰返すことになるわけである。これは付図88のような等価回路で表わせる。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



付図 88

付図88でわかるとおりT_3の1次側には400$^c/_s$の断続した電流が流れ2次側の出力には400$^c/_s$の矩形波が現われる。

結局D・C分の信号は再び400$^c/_s$に復調されたわけである。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

(3) 性　能

残留電圧　　2mV(r.m.s)以下　（入力アース時）

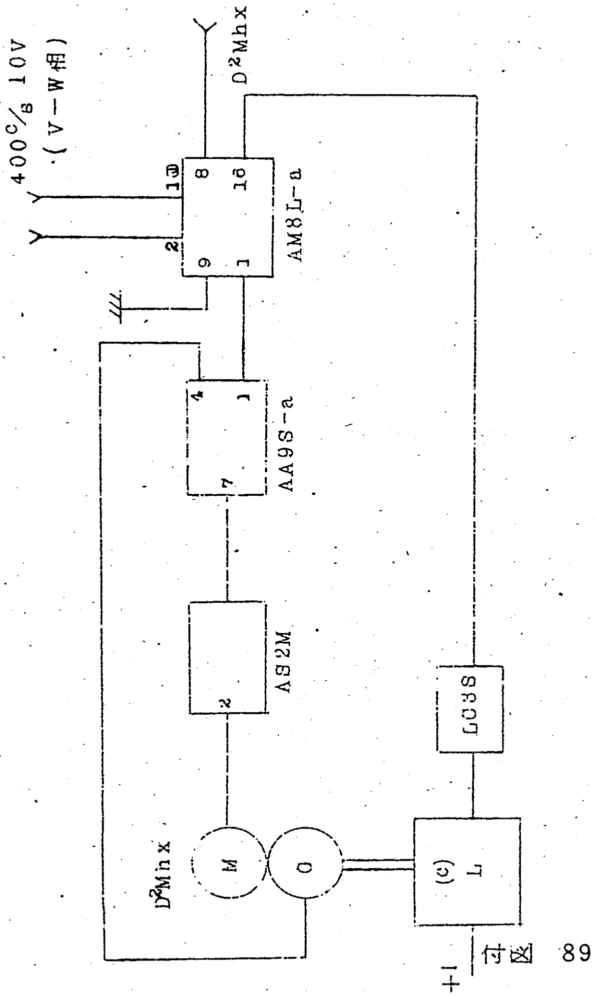
ゲイン　　約10倍（入力抵抗100KΩの時）

最大出力　　1.3V(r.m.s)

+24V入力電流　14±3mA

(4) 実使用例

射撃盤Cドロワで使用されている実例を付図89に示す。



付図　89

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

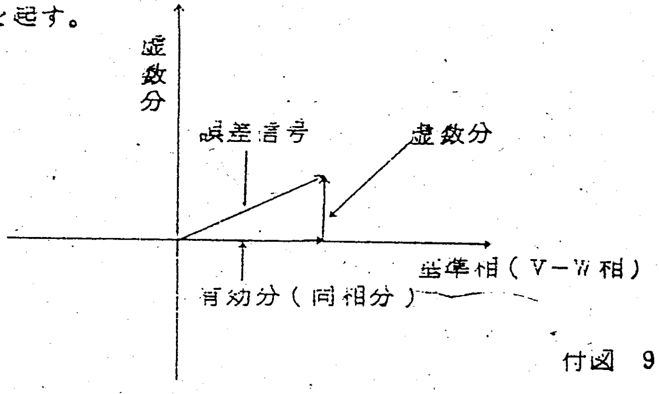
HP『海軍砲術学校』公開資料

前記例はいわゆる平滑回路（スムージング）に用いられたもので入力信号D^2Mrx（x方向的速の加速度分）を受けるサーボである。
しかし入力信号はノイズを非常に多く含んでいるので時定数の大きなサーボ系でないと安定な制御を行なうことはできない。
そのためタコジエネによる速度フィードバックとともにAM8I増幅器による低域補償によつてノイズに強いサーボ系にしている。詳細は第1章を参照のこと。

15　AM10S増幅器

(1)　概　要

一般にサーボ系の基本は入力信号と出力信号の差（誤差信号）を増幅してサーボモーターを回転さすことにより誤差信号を零にするよう制御することである。サーボ系も大別すると「直流サーボ系」「交流サーボ系」の2つがあり、GFCS計算機は400$^{c}/_{s}$交流サーボ方式である。
交流サーボ方式は直流サーボ方式に比べドリフトがないことが最大の特徴であり長所であるが、反面厄介な問題がある。すなわち交流サーボ系の誤差信号はモータを回転さすための有効分（同相成分）と、それと直角（90°位相の虚数成分を含んでおりこの虚数成分はサーボ増幅器の飽和等を起す。



付図　92

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

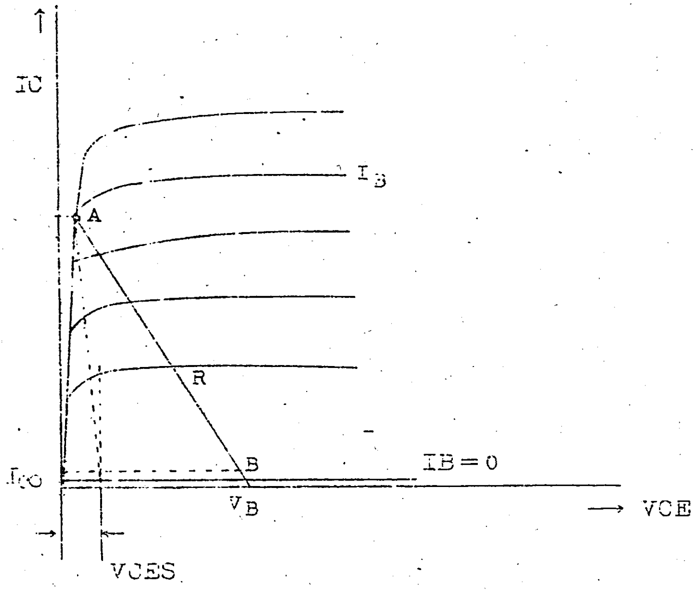
HP『海軍砲術学校』公開資料

付図92 に示すように誤差信号に含まれる虚数成分は小さい程よいわけであるが回路に含まれるトランス．コンデンサ等によりある程度存在する。この虚数成分を除去するための増幅器がAM10Sであり、サーボ増幅 器の前段に入れることにより目的を達している。

(2) 回路の動作

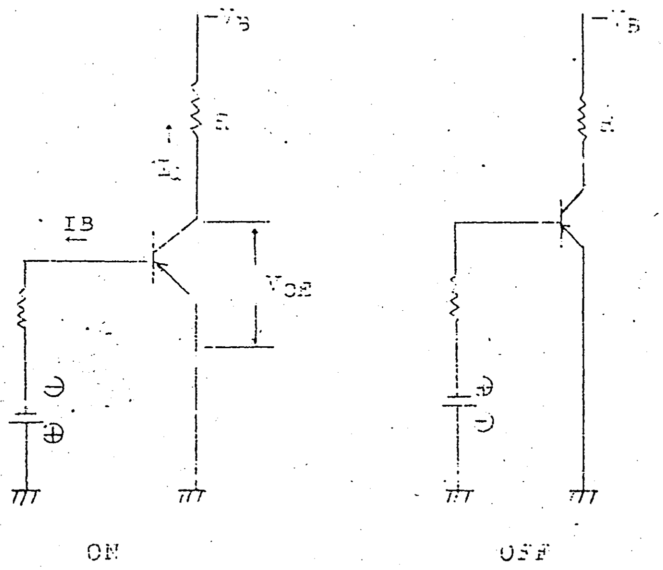
AM10S増幅器は交流増幅部及び虚数分除去分に分けることができる。交流増幅部はQ_1，Q_2，Q_7 の3段増幅回路で構成されておりQ_7 は電界効果トランジスタによるインピーダンス変換である。Q_1，Q_2は直結方式による高入力インピーダンス交流増幅回路である。この回路の電圧ゲインは約　倍あるが実際は、R_9 によりフイード　バックをかけ交流増幅部のゲインは約2倍で使用している。

虚数分除去部は Q_3，Q_4，Q_5，Q_6 及び励磁用入力トランス T_1 で構成されているがこの回路の基本となるトランジスタのスイッチングにつき述べる。



http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



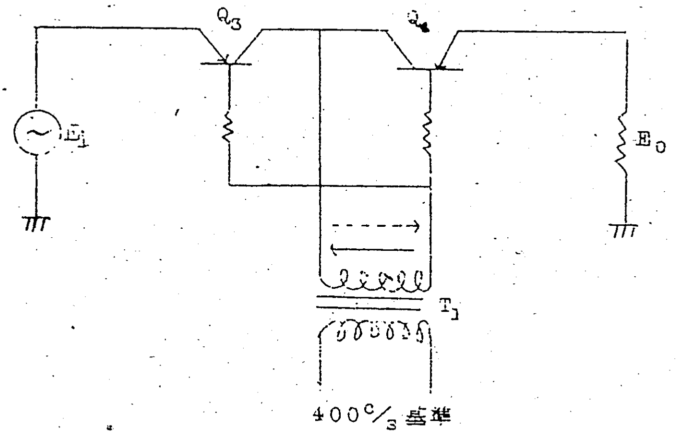
付図 93

付図93はPNP構造のトランジスタを用いたスイッチング特性である特性曲線上のA点がONの状態、B点がOFFの状態を示している。
すなわちトランジスタのベースに十分な電流を流すとコレクタ，エミッタ間の電圧は非常に小さくなり―この電圧をトランジスの飽和電圧といいVCESで表わす。この値はゲルマニコームトランジスタの場合0.1V以下である。―コレクタ電流ICは負荷抵抗だけにより決まるON状態になる一方ベースエミッタ間に逆バイアス（ベースが正、エミッタが負の電圧）をかけベース電流を0にすればコレクタ電流は非常に小さくなり―この電流をコレクタ暗電流といいICOで表わす。この値は小形ゲルマニコームトランジスの場合数μAである―OFFの状態になる。
このようにトランジスのベース、エミッタ間に正負の電圧をかけること

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

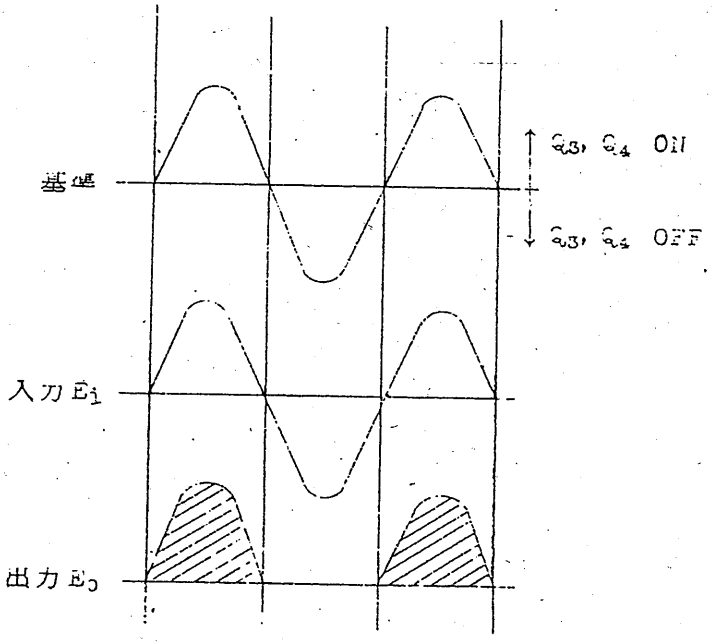
により、トランジスタをスイッチと同様な動作を行なわせることができる。またトランジスタは構造上エミッタ コレクタを入れ換えても前記と同様なスイッチング動作を行なうことができ、この方が飽和電圧 V_{CES} は小さくなる。



付図 94

付図94はトランジスタを2個使つたスイッチング回路である。励磁トランス T_1 の出力が実線で示されたような電圧の時 Q_3, Q_4 のトランジスタはONとなり、点線のような電圧のときどちらのトランジスタもOFFとなる。いま入力 E_i に基準電圧と同相の信号が入つた場合を考えると出力 E_0 には付図95に示すような半波の整流波形が現われる。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

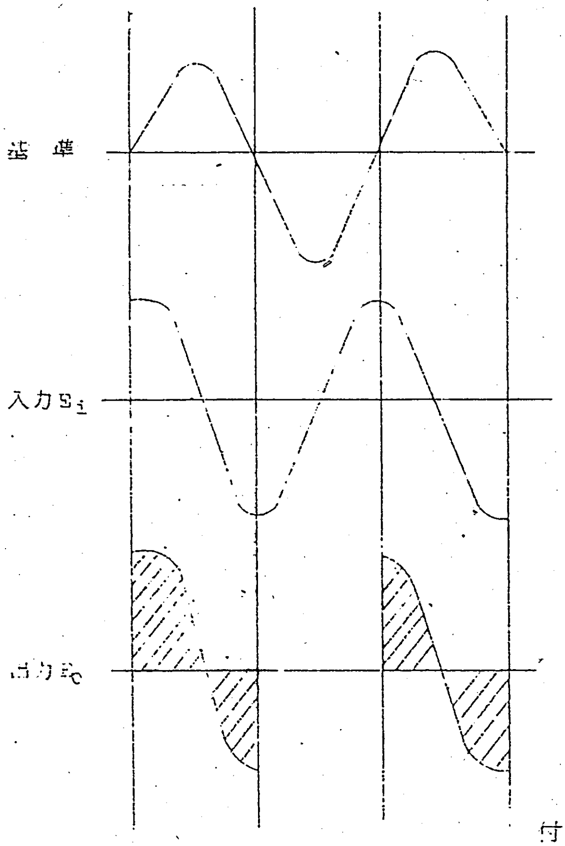


付図 95

次に入力に基準電圧と90°位相の違う電圧が入つた場合出力E_0には付図96に示すような波形が現われる。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



付図 96

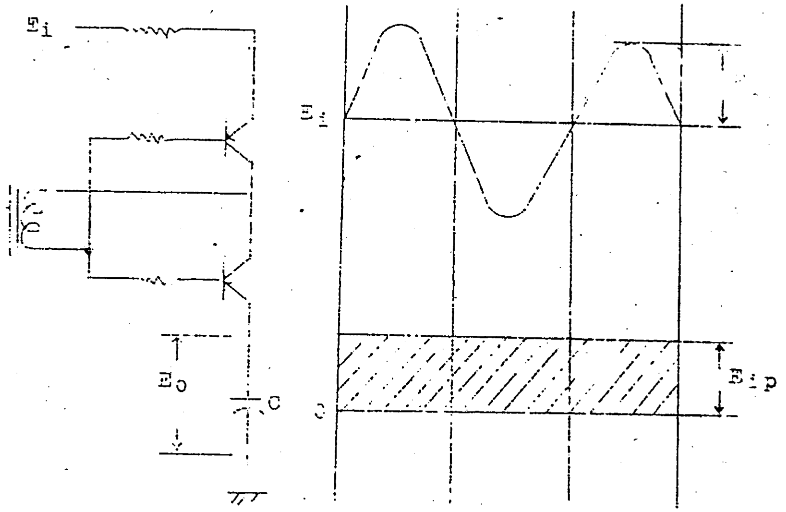
このような スイッチング回路の出力にコンデンサを入れた場合を考えると（付図97）入力 E_i が同相又は逆相の場合出力には一定の直流電圧が現われる。その値は入力 E_i の波高値 E_{ip} に等しい。—半波整流の波形をコンデンサでチャージしたものである。—

次に90° 位相の違つた場合を考えると付図96 で示されたような電圧をコンデンサに加えるわけであるから直流成分は零であると同時に交流時にはコンデンサで短絡状態となりなにも現われない。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

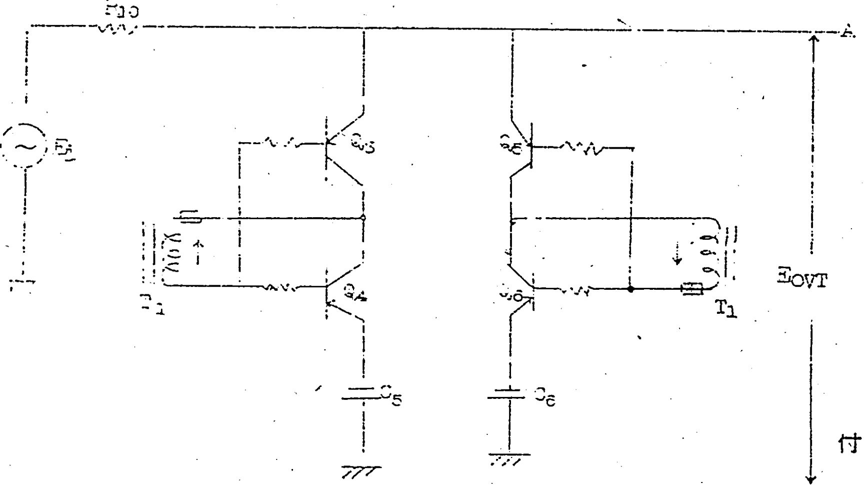
HP『海軍砲術学校』公開資料

二十一外



付図 97

このように同相、又は逆相の場合は最初の半周期間は Q_3, Q_4 に電流が流れるが次の周期からは電流が流れない。このことは付図98においてA点アース間のインピーダンスが非常に高いことになる。90° 位相の違つ



付図 98

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

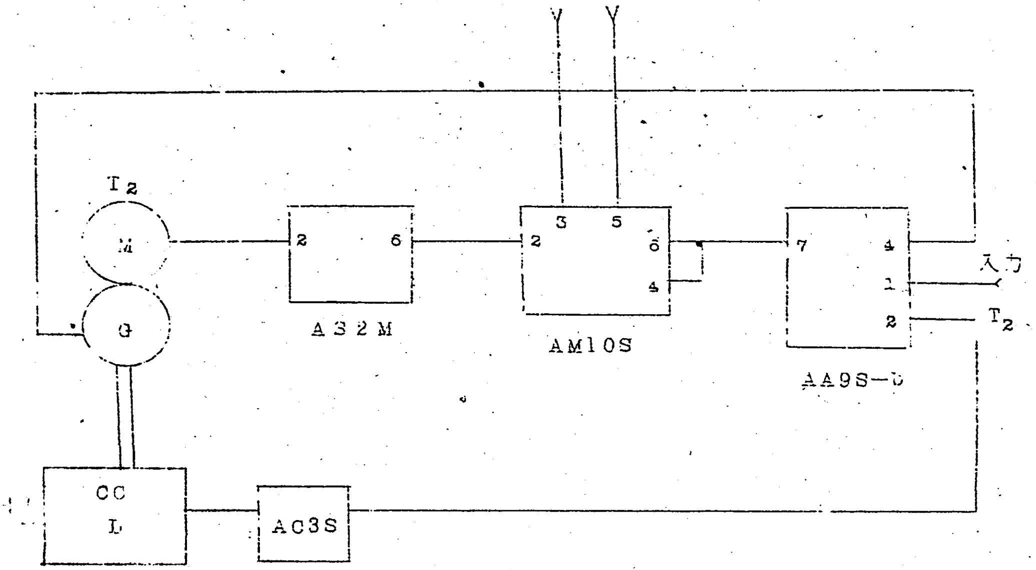
HP『海軍砲術学校』公開資料

た場合コンデンサで短絡状態となるわけであるからA点アース間のインピーダンスは非常に低い。出力EoutはこのインピーダンスとR_{10}の抵抗で分割されたものであるから以上をまとめると入力E_iが基準と同相、逆相の場合は、出力Eoutは現われるが90°位相が遅つた場合出力Eoutには何も現われない。90°成分（虚数分）の除去が行なわれたわけである。これまでは半周期について述べたが、実際は全周期につき行なう必要がありQ_3, Q_4で半周期、次の半周期をQ_5, Q_6で行なつている。

(3) 性　能

電圧ゲイン	約2倍（同相分）
90°成分除去比	約1／20
ノイズ	2mV(r，m，s)以下
+24V入力電流	6±2mA

(4) 実使用例



付図 99

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

付図99は射撃盤ニドロワ T_2 軸サーボに使われている一例である。入力信号 T_2 は基準電圧V－II相に対し位相がわずかではあるがずれている可能性がある。この場合90°成分を除去しないとサーボ増幅器AS2Lが飽和し、見かけのゲインが下つてサーボ系の精度が低下する。

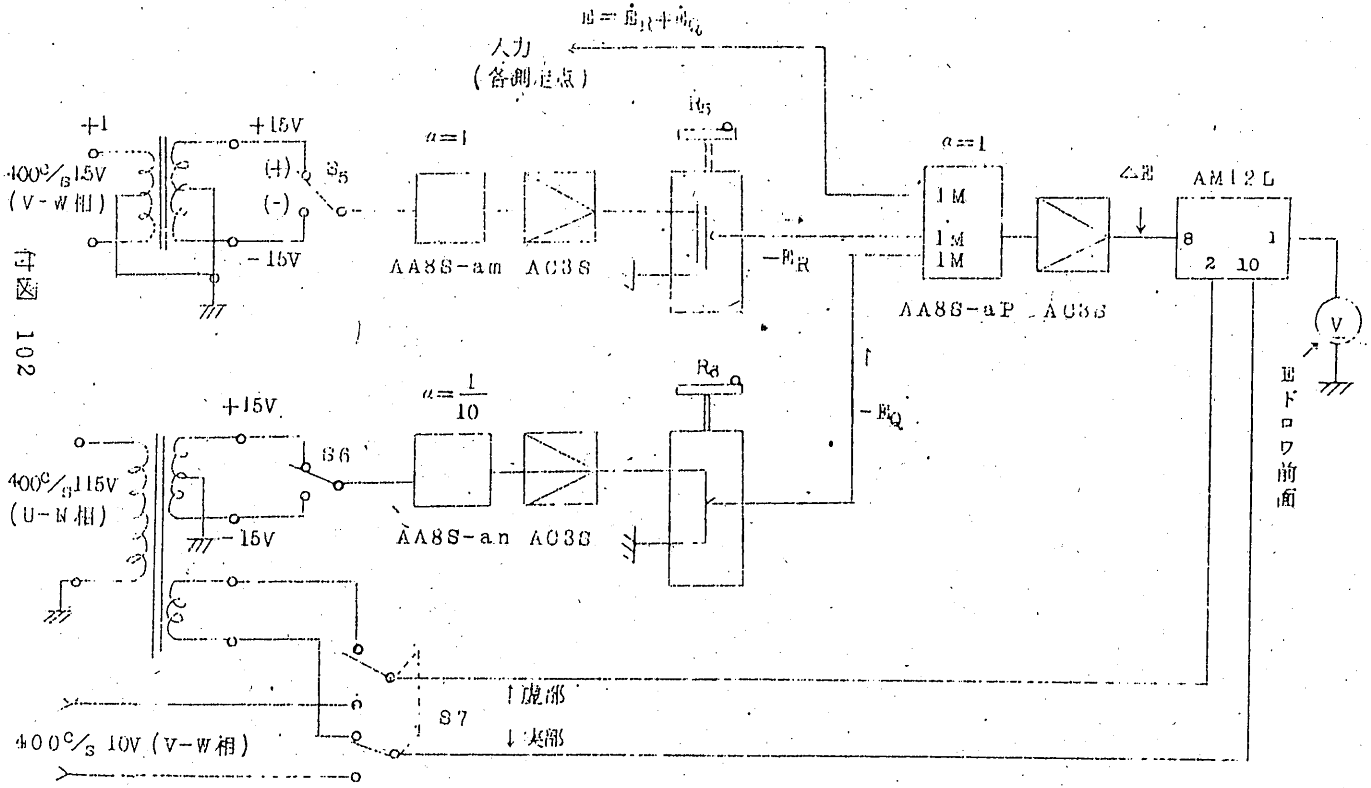
16　AL12L増幅器

(1)　概　要

AL12L増幅器は400c/s の位相検波器（デモジュレータ）であり、射撃盤ニドロワの信号点検回路に使われている。信号点検回路は一種の電圧計であるが一般の電圧計が信号の電圧値を指示するのに比べ本回路は基準電圧に対する比で示される。すなわち基準電圧〔400c/s 15V（r.m.s）〕を1とし、入力電圧が基準電圧と大きさ等しく同相のときは1.000また逆相で大きさが等しいときは－1.000と示される。信号点検回路は計算機の演算途中における電圧をチエツクするためのものであるが、演算電圧は計算基準電圧と完全に同相又は逆相とは限らない。わずかではあるが位相のずれがある。計算機の演算はすべて計算基準電圧と同相又は逆相成分のみで行なわれるから、信号点検回路においても同相、逆相成分の比を指示するようになつている。また演算には直接関係ないが位相ずれによる90°成分（虚数部）の大きさも指示できるようになつている。このように基準電圧に対する同相成分あるいは90°成分を検出(位相検波）し直流電圧計を駆動する増幅器がAL12Lである。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



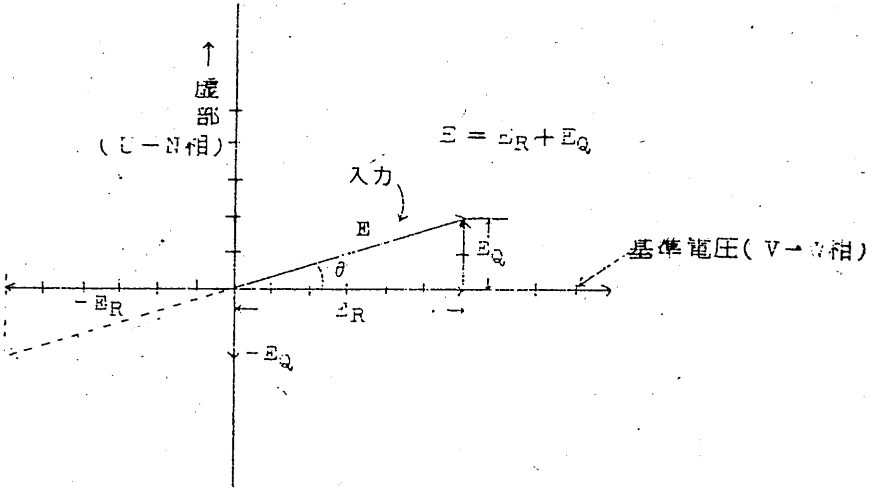
付図 102

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

二十二外

付図102は信号点検回路のブロック図である。いま入力に付図103のような信号が入つた場合を考えると



付図　103

入力電圧Eが基準電圧とθだけ位相がずれているとすればその実数部（同相分）E_Rは$E_R = E\cos\theta$、虚数部E_θは$E_\theta = E\sin\theta$である。付図103では基準電圧1に対し　$E_R = 0.60$　$E_\theta = 0.20$である。このような入力電圧を付図102に示すような信号点検回路で測定する場合同相成分E_Rと逆相の電圧をR_5の精密ポテンショメータで加えるS_7を実部に倒しAM12Lの位相検波回路の基準とする。AM12Lの出力は直流電圧計を駆動するわけであるがこの電圧計の振れが零を示すようR_5を調整すればR_5の出力は$-E_R$である。故に精密ポテンショメータのダイアルを較正することにより入力信号の同相分のみの比を正確に読みとることができる。次にS_7を虚部に倒し計算基準電圧（V－W相）と90°位相の違つた電圧（U－N相）をAM12Lの位相検波回路の基準とすれば

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

入力電圧の 90°成分のみを検出することができ R_6 の精密ポテンショメータを調整し、メータの振れを零にすることにより、基準電圧と 90°位相の違つた成分の比を読みとることができる。このように S_7 を「実部」「虚部」に倒して両方ともメータの振れが零の場合、R_5, R_6 のポテンショメータの読みが入力電圧の値である。

(2) 回路の動作

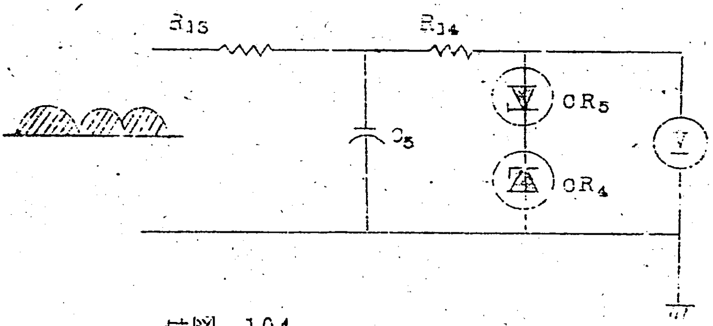
AM12L増幅器は次の3回路より構成されている。

(A) 交流増幅回路

(B) 位相検波回路

(C) 平滑及び電圧制限回路

(A), (B)の動作原理は2－6－3－(11)のAM8L 増幅器と全く同じであるからそれを参照されたい。



付図 104

付図104は平滑及び電圧制限回路である。位相検波回路の出力は全波の脈流波形であるが R_{13}, C_5 のフイルタで平滑され直流となる。

CR_4, CR_5 はゼナーダイオードでありメータの過電圧保護のためである。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

(3) 性　能

電圧ゲイン（$\frac{DC}{AC}$）	約 20 倍
残留電圧	± 2mV(D.C) 以下（入力アース時）
最大出力	± 10V D.C(TP1) ± 3V.D.C（ピン1）
+24V 入力電流	15 ± 3 mA

17　AP14L増幅器

(1) 概　要

AP14L増幅器はAP14L－a，b の2種類があり、aはゲインが2倍、bは5倍である。特にAP14L－a は計算基準電圧± 15Vを発生するための増幅器であり測的盤Dドロワ内に収容されている。計算基準電圧は計算系のすべての基準であり演算電圧はこの基準電圧に対する比で表わせる。

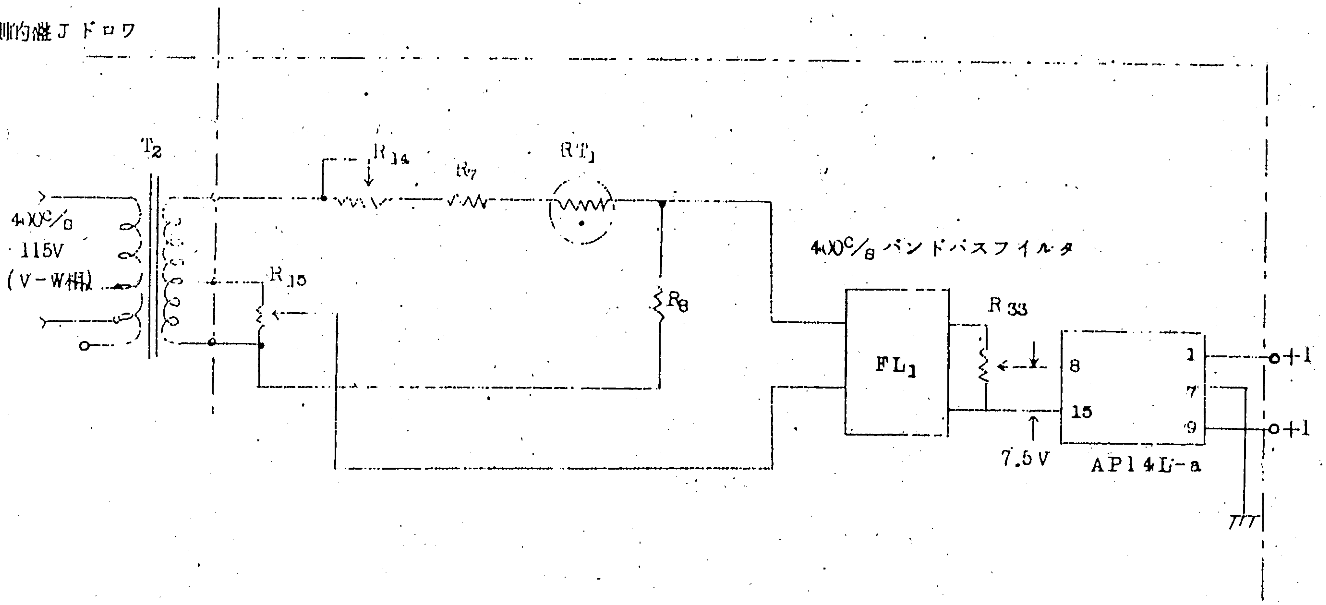
付図 107 はAP14L－a 増幅器と 400 c/s フィルタ回路及び安定化回路を示す。

RT_1 は安定抵抗管であり定電流特性を有している。すなわち 400 c/s 115V の電源が変動しても R_S の両端には常に一定の電圧を発生さすことができる。この安定化された電圧は FL_1 の 400 c/s バンドパスフィルタに送られる。バンドパスフィルタは 400 c/s に含まれる高調波成分を除去し歪の少ない基準電圧を得るために使用される。このフィルタの出力は R_{33} の可変抵抗器で分割されAP14L－a の入力となる。AP14L－a 増幅器はこの信号を電力増幅するとともに± 15V(r.m.s)の電圧をバランスよく（平衡度 0.05% 以内）発生する。一方 AP14L－b 増幅器は射撃盤Eドロワ内に収容されており苗上修正用ポテンショメータの励振用に使用されている。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

付図 107



http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

二十三外

(2) 回路の動作

AP14L増幅器も基本的にはフイードバック方式の交流電力増幅器である。計算基準電圧はすべての計算の基準となる関係上低歪率、低出力インピーダンスが要求される。この要求を満足するためには高ゲインの増幅器にフイードバックをかけるのが最もよい。AP14L増幅器ではQ_3 ~ Q_5で電圧増幅し、R_2で帰還している。Q_1は電界効果トランジスタで高入力インピーダンスを得、Q_2のエミッタフオロワでQ_3を駆動している。Q_4, Q_5はダーリントン接続によるA級電力増幅回路である。電力増幅する回路は他にB級方式もあるが歪みが大きいのでAP14LではA級回路を使用している。R_3, C_2の直列回路、及びC_4, C_5は高周波発振防止用である。出力トランスT_1の二次側にはバランス調整の可変抵抗R_{13}があり、アースに対し+，－の出力電圧の大きさが等しくなるよう調整される。C_6のコンデンサは位相補償用である。

(3) 性　能

開回路電圧ゲイン	300倍以上
最大出力	1KΩ×2の負荷時，16V(r.m.s)×2以上
歪　率	0.1％以下
出力インピーダンス	（ピン9）2Ω以下
+24V入力電流	約130mA

17　AP15L増幅器

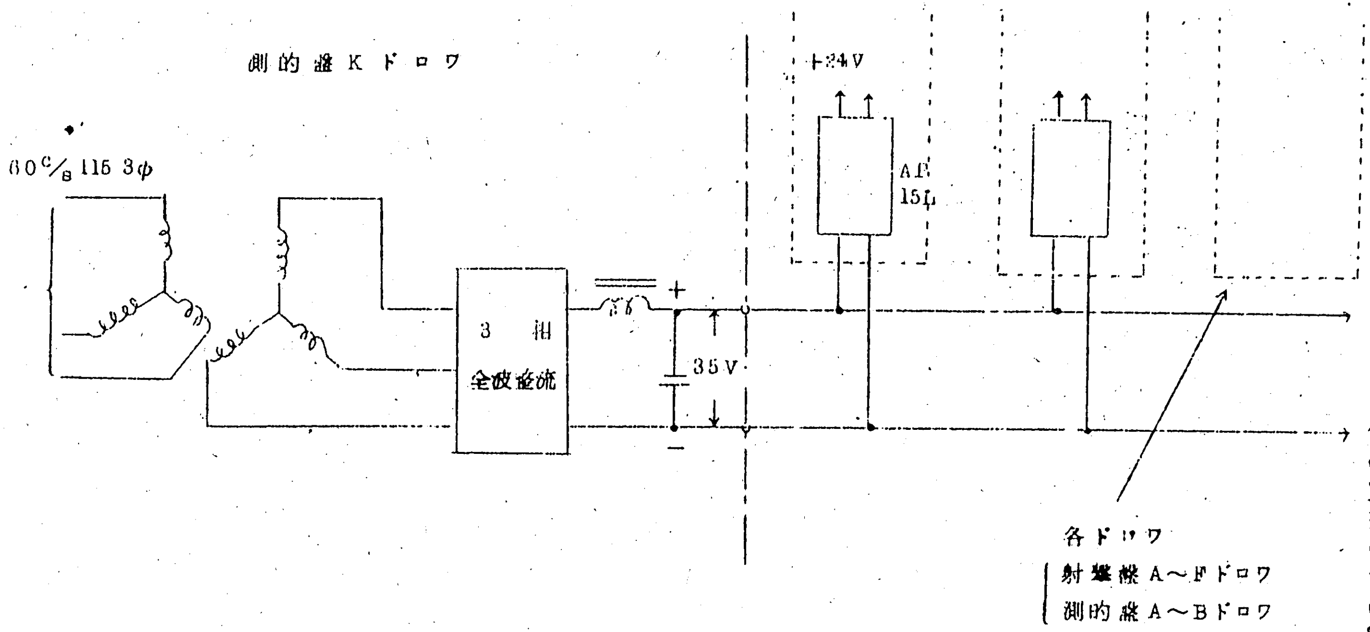
(1) 概　要

AP15L増幅器は直流+24Vの電源安定化回路である。GFCS計算機に使用されている各種増幅器の電源電圧はすべて+24Vに統一されており各ドロワ1個につき安定化回路を1個持つている。この安定化回路の

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

付図 111



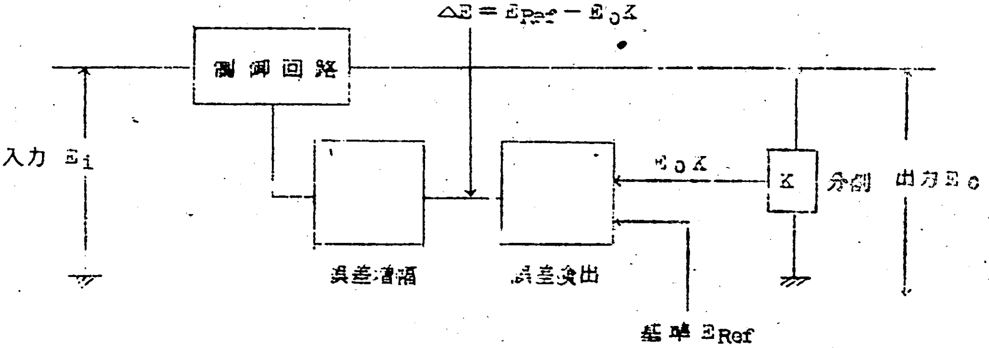
入力は非安定直流35Vであり、測的盤Kドロワから供給される。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

(2) 回路の動作

AP15L 増幅器は安定化回路と過負荷保護回路により構成されている。一般にトランジスタ電圧安定化回路は直列方式、並列方式があるがAP15Lは直列方式を使用している。この安定化回路の動作をより良く理解するために付図111に示すようなブロック図で説明する。まず出力 E_0 は分割回路でK倍に分割され誤差検出回路に送られる。誤差検出回路はある基準電圧 E_{Ref} と前述の K, E_0 の電圧の差 ΔE を検出し次の誤差増幅回路に送る。誤差増幅回路は直流増幅器であり、ΔE の電圧を増幅し制御回路をコントロールする。この時コントロールする極性を負に選べばこの回路全体は一種のサーボ系と同様にあつかうことができる。すなわち系全体は誤差 ΔE を零にするよう動作する。いま何らかの原因で出力 E_0 が定常状態より大きくなつたとすれば誤差 ΔE が生じ制御回路をコントロールし ΔE が零になるよう出力 E_0 を下げる。



付図 111

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

このようにこの回路は常に出力電圧E_0を一定に保つよう働くわけである。以上の動作ブロック図を実際の回路にあてはめてみると、

分割回路……………… R_{13}, R_{14}, R_{15}

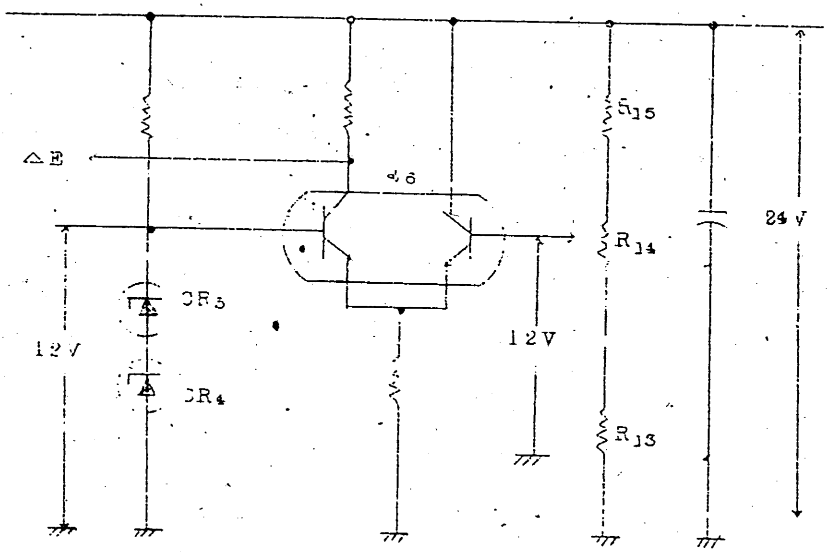
誤差検出回路………… Q_3の差動形増幅器

基準電圧……………… CR_4, CR_5

誤差増幅回路………… Q_5

制御回路……………… Q_2 ～ Q_4

となる。



付図 112

付図 112 は分割回路、誤差検出回路、基準電圧発生回路を示したものである。基準電圧はCR_4, CR_5のゼナーダイオードで作られる。ゼナーダイオードは温度によりその電圧が変動するが温度係数が6V位を中心としそれ以上が正、それ以下が負の特性を持っている。故に正負の温度

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

係数を持つたゼナーダイオードを直列に接続するこにより全体として温度係数の非常に小さい素子が実現できる。

CR_1が4V，CR_5が8Vのゼナーであり、全体で12Vの基準電圧を得ている。Q_5は差動増幅器であるが半導体を用いた差動増幅器のドリフトは両トランジスタの温度差によるものが一番大きい。この温度差を小さくする方法として一つのケースの中に二つのトランジスタを組込んだ方式（TWINトランジスタ）が使われQ_6のトランジスタ（2SC280）はその構造を有している。差動増幅器は両トランジスタのベース電圧の差を増幅する。故に片方のベース電圧は基準電圧（E_{Ref}）、もう一方のベースには出力を分割した電圧（KE_0）を加えればこの回路の出力△Eは△E＝E_{Ref}－KE_0となり誤差検出の動作を行なう。分割回路のR_{14}の可変抵抗器は出力電圧E_0の調整用である。すなわちE_{Ref}は常に一定であると同時に△Eは定常状態では零であるからR_{14}の可変抵抗によつて分割比Kを変えることにより、出力E_0を可変することができる。

次に実際の回路で安定化の動作原理を定性的に述べる。出力電圧E_0が上がつた場合を考えるとQ_6の右側ベース電圧が上がりコレクタ電流が流れR_{12}の電圧降下が大きくなる。（エミッタ電圧が上る）Q_6左側ベース電圧は一定であるからQ_6の左側コレクタ電流は減少しQ_5のベース電圧が上る。Q_5のエミッタ電位はCR_2，CR_3のゼナーダイオードで一定に保たれているからベース電圧が上ればコレクタ電流が増大しQ_2のベース電位は下る。Q_2～Q_4は3段のダーリントン接続であるが等価的には電流増幅率の非常に高い1個のトランジスタと置き換えることができる。故にベース電位が下ればQ_4の内部抵抗が上り結局出力E_0は下る。

以上のようにこの回路は入力電圧の変動、負荷電流の変動に関係なく常

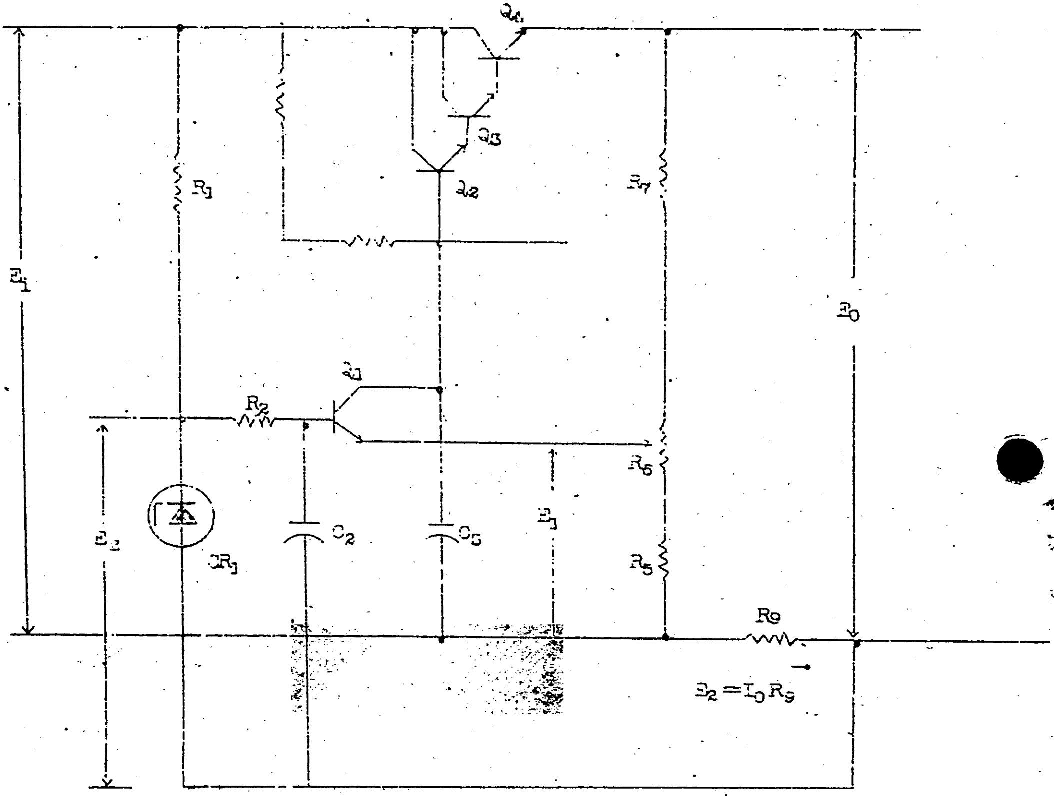
http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

に一定の出力電圧を保つ。前述のようにこの回路は一種のサーボ系として考えることができるわけであるがフィードバック回路に適当な補償を施さないと発振を起すことがありAP15LではC3のコンデンサに発振を防止している。

過負荷保護回路

電源回路は調整幅その他により、一時的に過負荷になる恐れがあるが、トランジスタは過負荷耐量が小さく過負荷に対しては保護回路が必要である。AP15Lでは過電流保護回路を有しており付図113にそれを示す。



付図 113

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

Q_1 のベース電圧は $E_Z + E_2 = E_Z + I_0 R_9$ で表わされ、エミッタ電圧を E_1 とすれば、Q_1 のトランジスタがOFFの条件は、

$$E_Z + I_0 R_9 < E_1$$

ONの条件は

$$E_Z + I_0 R_9 > E_1$$

である。正常状態（I_0 が1A以下）の時 Q_1 はCUT OFFになるよう R_9 を調整する。いま負荷電流 I_0 が増大し、$E_Z + I_0 R_9 > 1$ の条件を満たす状態になれば Q_1 がONとなり Q_2 のベース電圧を下げ出力電圧 E_0 を下げる。Q_1 が一度ONの状態に入ると Q_1 には R_1, R_2 の抵抗を通しベース電流が流れ負荷電流が正常になつても出力 E_0 は現われない。

復帰するためには入力電圧 E_i を一度OFFにしなければならない。ではなぜ最初 E_i を印加した時 Q_1 がOFFの状態になるかといえば、Q_1 のエミッタ電圧 E_1 は入力 E_i の印加と同時に時間遅れなく立上る。一方ベース電圧は R_2, C_2 の時定数で決まる時間遅れを持つて立上り定常状態では Q_1 のベース電圧よりエミッタ電圧が高くなるよう調整されているわけであるから結局 Q_1 はOFFの状態になる。

R_6 は過負荷保護回路の動作レベルを設定するための可変抵抗器であり。右に回わすと設定電流が小さくなる。

(3) 性　能

出力電圧	24V
最大出力電流	1A（連続）
リップル	10mV（P－P）以下
入力電圧	30～40V
出力電圧変動	0.1V以下（負荷0～1A）

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

18　AS2M増幅器

(1)　概　要

AS2M増幅器はサーボモータを駆動するための $400\,^{c}/_{s}$ サーボ増幅器である。サーボ増幅器はサーボ系の誤差電圧を増幅し、電力増幅した後誤差電圧が最少となるようサーボモータを駆動する。

サーボ増幅器も一般の増幅器と特に変ることはないが高精度のサーボ系を実現するために次のようなことが要求される。

a　高ゲイン

b　高入力インピーダンス

c　位相変化の少ないこと

d　高出力（連続）

e　周波数特性が平らなこと

f　低雑音

特にサーボ増幅器としては(1)，(3)，(4)は重要な問題である。

ア　サーボ系の誤差はループゲインをμとすれば約$1/\mu$で表わせる。故にμは高いほどよいわけでサーボ増幅器も高ゲインが要求される。

イ　サーボ増幅器は他の増幅器と異なり完全に飽和した状態で使用する瞬間がありその時においても入出力間の位相差は15°以内でなければならない。なぜならサーボモータは二相の誘導モータであるから励磁電圧と制御電圧が90°位相が違った時に最大出力が出る関係上極端な場合位相が90°ずれるとモータは回転しない。

ウ　サーボ増幅器は前述のように飽和した状態で使用する瞬間があるがそのとき、増幅器には定格以上の負荷がかかる。

故にサーボ増幅器はこの過負荷に十分耐えるだけの容量がなければな

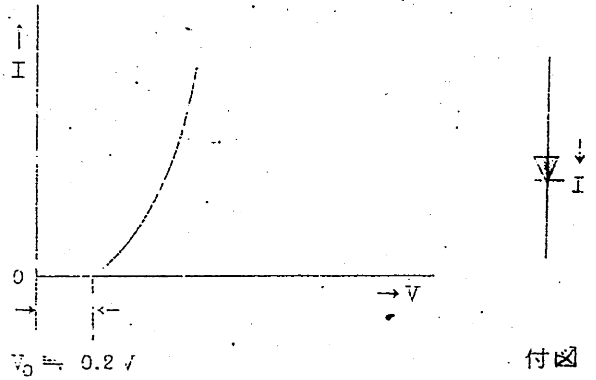
http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

らない。

(2) 回路の動作

AS2M 増幅器は大別すると信号増幅段と電力増幅段にわけるけとができる。信号増幅段はQ_1 Q_2 Q_3 Q_4 Q_7のトランジスタ及び集積回路で構成されておりQ_1は特に高入力インピーダンスを得るためC_2によりエミッタからベースにフィードバックをかけている。（入力インピーダンス約100KΩ）、入力回路のCR_1，CR_2は普通のシリコンダイオードであるが逆平列に使用することによりリミッタとして用いている。付図116はシリコンダイオードの順方向特性曲線である。

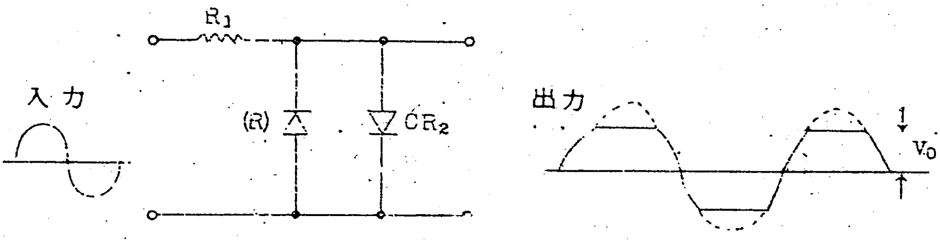


付図 116

付図116において横軸は順方向電圧であるがこの電圧がある値（V_0）以上にならないと電流が流れない。いわゆる不感帯が存在する。これ以上になると急に電流が流れ始めインピーダンスが下る。この特を利用し付図117のような回路を構成すれば電圧リミッタを行なうことができQ_1に異常入力の入るのを防いでいる。R_1は電流制限用である。

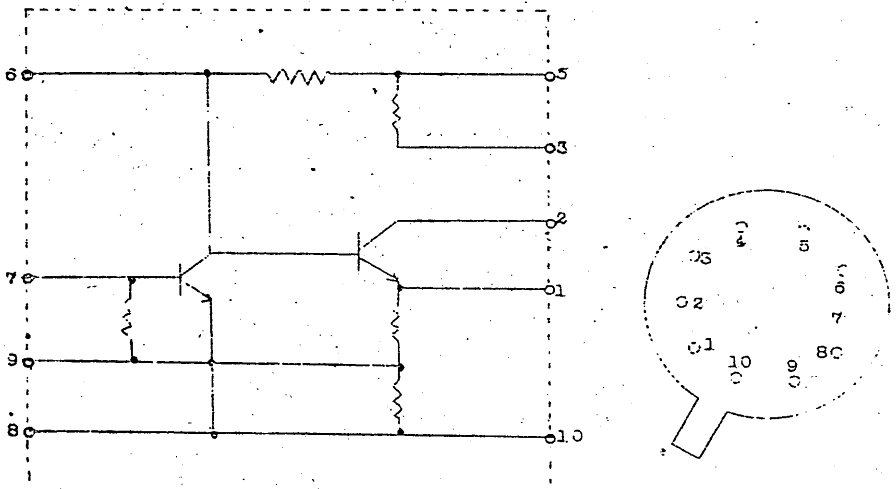
http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



付図 117

Q_7は半導体集積回路である。半導体集積回路とは一枚のシリコン ウエハの上にトランジスタ抵抗等を拡散形成したもので普通のトランジスタと同程度の大きさのケースの中にトランジスタ２段増幅回路と等価な回路を組込むことができる。付図２－６－８－１１９はＡＳ２Ｍ増幅器に使われている半導体集積回路μＰＣ１Ａの等価回路である。



μPC1A 裏面

付図 118

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

μPC1Aの性能を下記に示す。

電源電圧	12V
入力インピーダンス	200Ω
電圧ゲイン	約 200 倍
最大出力電圧	2V(r, m, s)

この集積回路μPC1Aの入力インピーダンスは200Ω程度であるからQ_1のトランジスタで直接駆動することは困難である。故にQ_2のエミッタフォロワで電力増幅しQ_7を駆動している。R_{21}の可変抵抗器はゲイン調整用でありQ_7に流入する信号電流の大きさをかえることにより目的を達している。

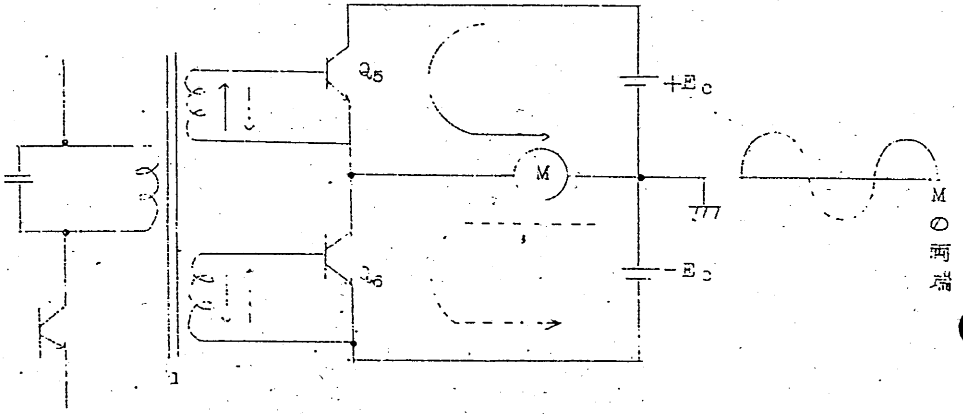
Q_4は電力増幅段Q_5, Q_6のトランジスタを駆動するためのA級増幅回路である。またこの回路のエミッタには出力よりR_{19}により帰還をかけ出力インピーダンスの減少を計っている。コンデンサC_9は400c/s同調用である。

電力増幅段

AS2M増幅器の電力増幅段はいわゆるO, T, L(OUTPUT TRANSLESS)方式で低出力インピーダンスと出力トランスの省略を計っている。同回路の原理図を付図119に示す。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

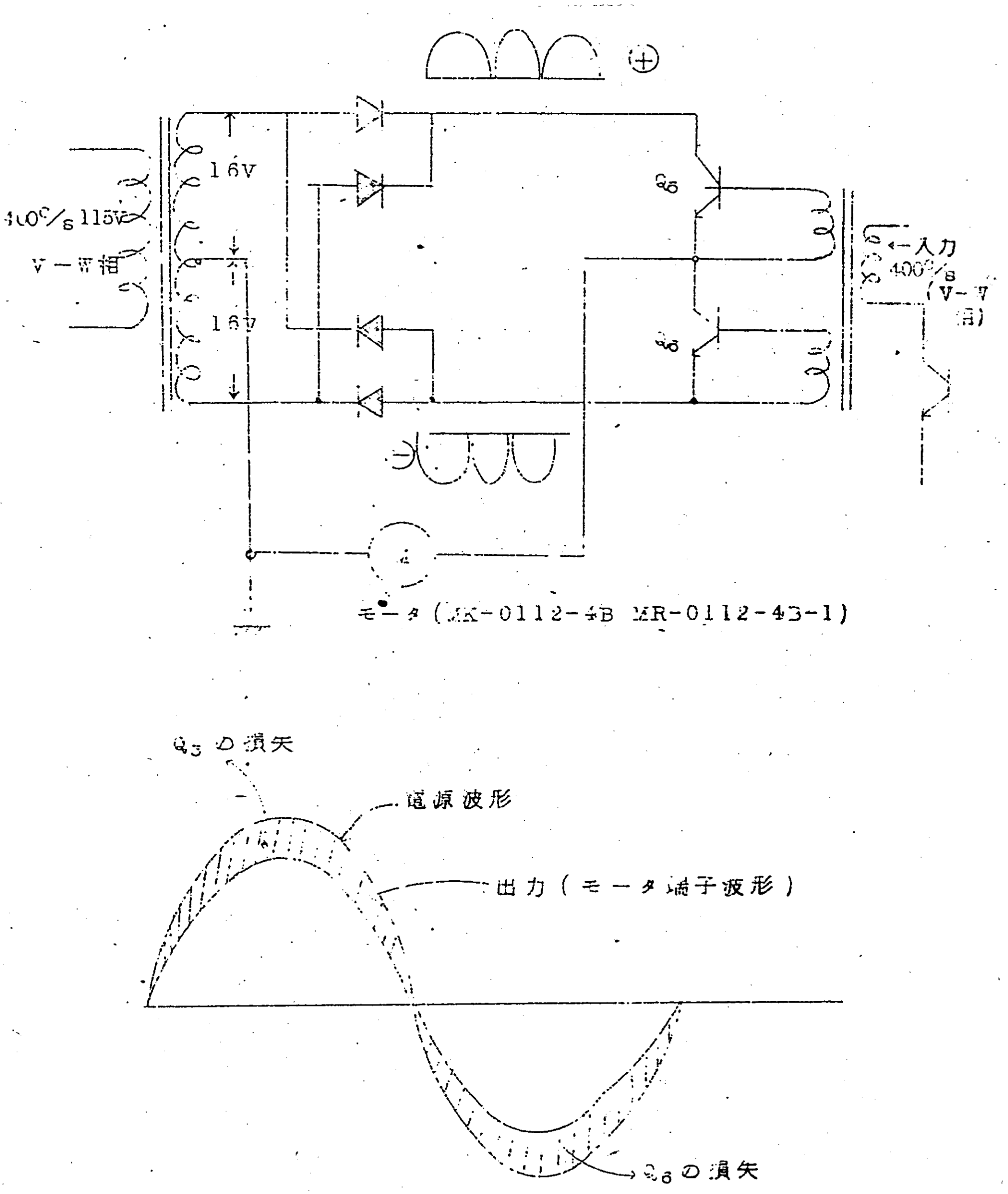


付図 119

付図119においてドライバトランスT_1の2次側に実線のような電圧が発生した。半周期を考えるとQ_5が導通、Q_6がOFFになり負荷(モータ)の両端には実線のような電圧が現われる。次の半周期ではQ_5がOFF,Q_6が導通し点線のような電圧が現われる。付図119は電源E_cに直流を用いた場合であるが完全直流の場合トランジスタ自身の電力損失が相当あり不利である。そのためAS2M増幅器においては電力増幅段の電源(パワー電源)は付図120に示すように入力信号と同相の脈流全波電源を用いている。このようにすればトランジスタ自身の電力損失が小さくなるばかりでなく過大の入力が入り、Q_5, Q_6のトランジスタが完全に飽和したときでも出力波形はあまりくずれない利点がある。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



付図 120

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料

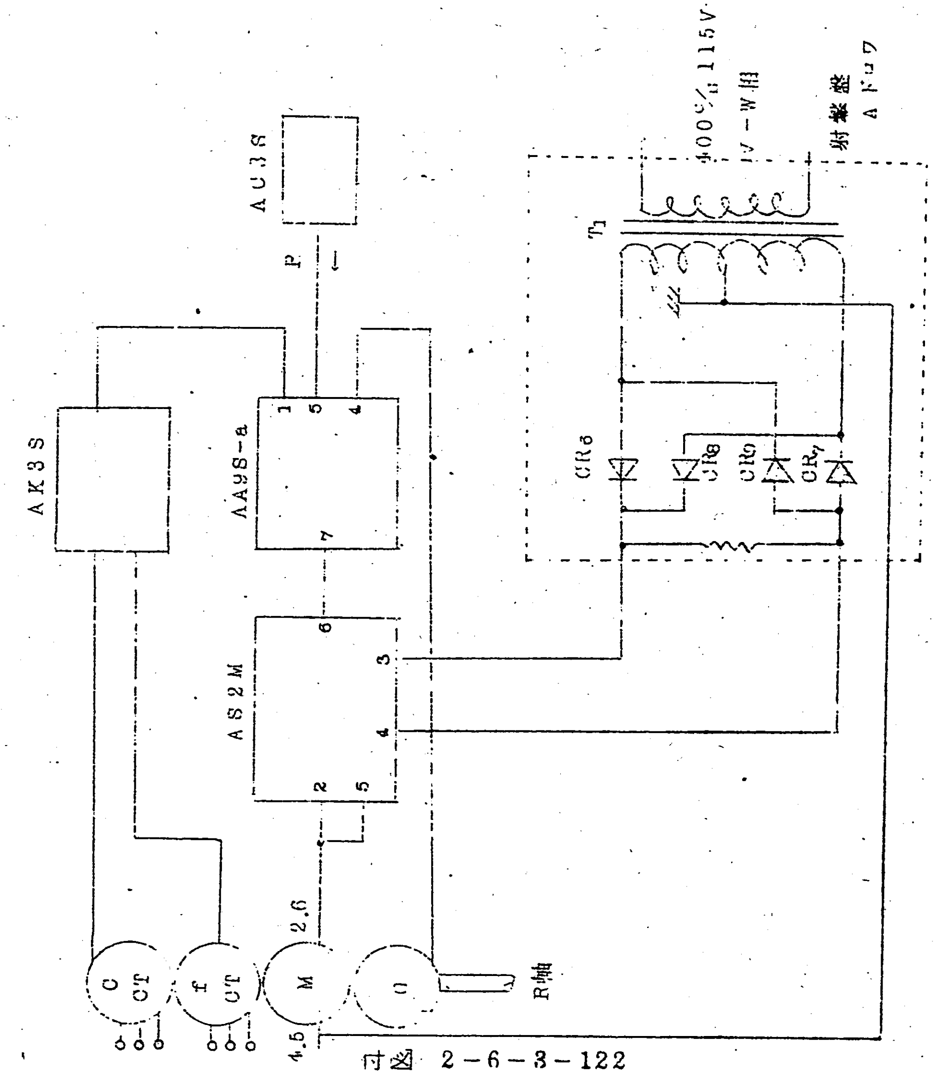
付図 120 の斜線の部分の電圧と電流の積が各トランジタの損失である。以上が電力増幅段の動作原理であるが実際は歪を小さくするために Q_5, Q_6 にはバイアスをかけている。R_{17}, C_9 R_{18}, C_{10} がバイアス電源（直流）を作成するための平滑回路である。

(3) 性　能

電圧ゲイン	150 ～ 1000 倍可変
最大出力電圧	13V(r, m, s) 以上（13Ω負荷）
ノイズ	0.2V(r, m, s) 以下、ゲイン 1000 倍のとき
+24V 入力電流	20 ± 3mA
適合モータ	MR−0112−4B　MR−0112−4B−1

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

HP『海軍砲術学校』公開資料



付図 2－6－3－122

付図2－6－3－122 に射撃盤Aドロワ R軸の一例を示すがこれはシンクロ電機を使つた角度伝送サーボの典型的な例である。

http://navgunschl.sakura.ne.jp/

ＨＰ『海軍砲術学校』公開資料

http://navgunschl.sakura.ne.jp/